麻酔・集中治療と テクノロジー 2019

●編集

千葉県こども病院 麻酔科 診療部長

内田 整

京都府立医科大学附属病院 集中治療部 部長

橋本 悟

京都府立医科大学大学院 名誉教授 田中 義文

simulation intranet software database network

麻酔・集中治療と テクノロジー 2019

●編集

千葉県こども病院 麻酔科 診療部長

内田 整

京都府立医科大学附属病院 集中治療部 部長

橋本 悟

京都府立医科大学大学院 名誉教授

田中 義文

テクノロジーの種蒔き

2019 年 晩秋

2018年11月30日(金)から12月1日(土)の2日間,第36回麻酔・集中治療テクノロジー学 会を三重県津市で開催させていただきました、ご講演、ご発表いただきました演者の先生方、参加さ れた会員の皆様,協賛いただきました企業の皆様,また,開催にご協力いただきましたすべてのス タッフに心より感謝いたします.今回は,「テクノロジーが拓くこれからの麻酔」をテーマとさせて いただきました. 臨床医学は解剖学,生理学,薬理学などの基礎医学に支えられていますが,日常的 にさまざまな医療機器を使用して患者管理を行い、また、安全な医療を提供している麻酔科医にとっ て、テクノロジーも医療を支える大きな柱のひとつです、テクノロジーの進歩なくして麻酔・集中 治療医学の進歩はないといっても過言ではないでしょう、そこで、近未来のテクノロジーを視野に、 特別講演とシンポジウムを企画しました、特別講演では、太陽誘電株式会社の石黒 降氏に圧電デバ イスによる脈波解析についてご講演いただきました、パルスオキシメータでは光学センサーによる 脈波が臨床応用されていますが、光学センサーよりも感度、周波数特性ともに優れた圧電センサーを 使用することで,これまで捉えることが困難であった生体情報を検出できるという内容でした.この デバイスの今後の発展が非常に期待されます、シンポジウムでは、「展示会で探す、これからの麻酔 で使えそうなテクノロジー」を企画して, IT系の展示会で見つけた次世代に使えるテクノロジーの 応用を議論しました.展示会を歩いて,演者が文字通り,足を棒にして集めたテクノロジーからは未 来の医療への応用のヒントがありました.さらに,2019年度から日本麻酔科学会の麻酔台帳,JSA PIMS の導入が必須になることを控えて、「JSA PIMS とどう付き合うか?」を企画しました、時間 的な制限もあって討論が消化不良になったところもありましたが,JSA PIMS が抱える仕様や運用 上の問題点に対して、一石を投じることができたと思います、本学会は発足当時より、テクノロジー に興味を持つ先進的な麻酔科医や集中治療医が中心となって活動を行ってきました、研究の対象と してきたテクノロジーの中には,一過性に終わったり,あるいは,あまりの先進性のために非会員か ら奇異の目で見られたものもありました,しかし,現在の麻酔・集中治療分野を見ると,われわれ が日常使っている自動麻酔記録システム,薬物動態シミュレーション,脳波のデジタル解析などは, すべて,本学会会員の研究成果をベースとして開発・発展してきたものです.これからも,本学会 の活動が麻酔・集中治療領域のテクノロジー応用に大きな役割を担っていることは論を待ちません. 第36回日本麻酔・集中治療テクノロジー学会で蒔かれたテクノロジーのシードが,成長して,近未 来の麻酔・集中治療医学に応用されることを期待して止みません.

> 第 36 回日本麻酔・集中治療テクノロジー学会 会長 内田 整 (千葉県こども病院 診療部長 麻酔科)

memo:



memo:

目 次

第36回日本麻酔・集中治療テクノロジー学会論文集

特別講演: 超高感度スマート圧電振動センサ AYA-P の医療応用 石黒 隆 (株式会社 アドテックス,ADTEX Inc.)	1
シンポジウム 1: シンポジウム「JSA PIMS とどう付き合うか?」 -JSA PIMS に関するアンケート	0،
基調講演 「JSA PIMS の起源と想い」 讃岐美智義 (広島大学病院 麻酔科)	.4
麻酔科学会の立場から	.6
ユーザーから見た偶発症調査:管理者の立場から 星 拓男 (筑波大学附属病院 茨城県地域臨床教育センター (茨城県立中央病院) 麻酔・集中治療科	
JSA-PIMS ユーザー (医員) の立場から	.9
メーカーの立場から	24
シンポジウム 2: 「展示会で探す,これからの麻酔で使えそうなテクノロジー」 司会の言葉	28
ウェアラブル EXPO で見つけたテクノロジー	29
AI・人工知能 EXPO で見つけたテクノロジー	32
CEATEC で見つけたテクノロジー 3 片山勝之 (手稲渓仁会病院麻酔・集中治療室)	34
一般演題: バルカン半島への病院運営と医療技術の支援	38

菅井 直介	(湘南藤沢徳洲会病院麻酔科痛みセンター)	册
- 11		تا ا

地理情報システム Geographic Information System を用いた麻酔科医マンパワー解析方法論42 佐和貞治 (京都府立医科大学麻酔科学教室)
手術室でも使える翻訳アプリの比較検討50 野上俊光 (成尾整形外科病院 麻酔科) 他
paperChart で複数のモニター機器を効率的に利用するための汎用モジュールの作成57 斎藤智彦 (岡山ろうさい病院 麻酔科)
人体の血管内血流は螺旋状に回転して流れる63 横山博俊 (金沢医療センター 麻酔科)
CT 画像からの気道レプリカ作成 逆転の発想
心肥大で見られるストレイン T 波の発生機序
全身麻酔下専門上器具使用時の麻酔回路内呼吸音モニタリングの有用性80 石橋克彦 (千葉大学医学部附属病院 麻酔・疼痛・緩和医療科) 他
機械学習により BIS 値を推定する試み82 林 和子 (京都中部総合医療センター 麻酔科)
全静脈麻酔下で薬物相互作用を用いて求めた個体ごとの必要レミフェンタニル濃度の特徴87 松木悠佳 (福井大学学術研究院医学系部門医学領域器官制御医学講座 麻酔・蘇生学分野) 他
当院におけるマニュアル TCI の試み
呼吸音連続可視化モニタリングの紹介と手術室での呼吸状態評価の可能性92 讃岐美智義 (広島大学病院 麻酔科) 他
寄稿:複素関数入門
第 36 回日本麻酔・集中治療テクノロジー学会抄録抜粋119
編集後記

特別講演:超高感度スマート圧電振動センサ AYA-P の医療応用 石黒 降

1. はじめに

AYA-P は,センサ用に素材から開発した圧電素子をベースにインテリジェント化した高性能かつ超低消費電力な速度検出型のデジタル小型圧電振動センサであり,生体が発生する 0.01-30Hz の低周波極超微小振動を高感度・高精度に検出することができる.

この AYA-P とファームウエア・ソフトウエア から構築される , AYA-P システムは , 循環器や呼吸器などの生み出す脈波・心弾波・呼吸波形などの生体信号を体のさまざまな部位で非侵襲しかも同期的に検出・解析することができ , 脈波伝搬速度 , 心拍出量変化 , 血管内皮機能評価 , 無呼吸症候群検査など , 幅広い医療及びヘルスケアの分野への応用検討が始まっている . 本稿では , AYA-Pに関連する最新の研究開発の状況を解説する .

2. AYA-Pとは

2.1 概要

AYA-P とは,センサ用に素材から開発した圧電素子をベースにインテリジェント化した高性能かつ超低消費電力な速度検出型の小型圧電振動センサであり,生体が発生する0.01-30Hzの低周波極超微小振動を高感度・高精度に検出することができる.

AYA-Pシステムは,図1に示すAYA-Pハードウエア部(圧電センサ(AYA-P06S)とコントローラ(AYA-P05C)から構成)と関連ファームウエア・ソフトウエア群から構成され,循環器や呼吸器などの生み出す脈波・心弾波・呼吸波形などの生体信号を,体のさまざまな部位で非侵襲しかも同期的に検出・解析可能なシステムであり,脈波伝播速度,心拍出量変化,血管内皮機能評価,無呼吸症候群検査など,幅広い医療及びヘルスケア



図 1 AYA-P ハードウエア部

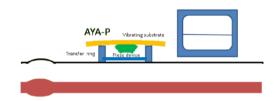


図 2 AYA-P の振動検出メカニズム

の分野への応用検討がスタートしており,医療系の学会発表も頻繁化している.

本稿では,このように現在注目されている AYA-P 及び AYA-P システムについて医療応用を中心に最新の研究開発の状況を解説する.

2.2 AYA-P の構造と振動検出メカニズム

AYA-P の構造を図 2 に示す . 独自に開発した 超高感度圧電素子と振動伝達リングを小型基板に 実装したという比較的シンプルな構造からなり , リングがピックアップした極超微小振動を基板に 伝達し基板振動に変換 , 基板上に実装された超高 感度圧電素子がこの基板振動を電気信号に変換す るという検出メカニズムを有する (図 3) .

2.3 AYA-P の特長

AYA-P は生体信号検出に最適な 0.1Hz 以下から 30Hz 程度までの感度域を有する低周波に特化した速度検出型の振動センサである.

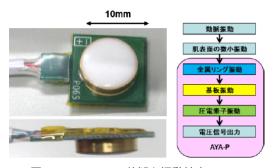


図3 AYA-P06S 外観と振動検出フロー

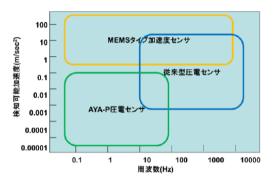


図 4 AYA-P の検知可能加速度と周波数帯域

独自の構造を採用し低周波数へ特化したことにより,従来の加速度センサや振動センサと比べ非常に高い感度を達成し,加速度センサ比で10万倍を実現している(図4).

また,同様に脈波を検出する光電脈波計などの他の生体情報センサと比べ,得られる波形が高分解能で,測定データのFFT解析を行った結果,10次を超える高調波成分が検出されている(図5).

さらに AYA-P は ,従来の多くの生体情報センサと違い , コントローラだけでなくセンサ部 (AYA-P06S) もデジタル化されたスマートデバイスであるため , 各センサに ID をふることができ , 複数のセンサを単に並列接続をするだけで , 各センサの出力を同期で検出することができる .

ターミナルソフトを使用して AYA-P に接続し, コマンドモードに入れることで,用途に応じて自 由に設定パラメータの変更が可能である.

2.4 AYA-P で検出できる生体情報

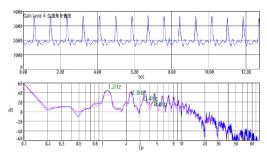


図 5 AYA-P で測定した指尖脈波の波形 (速度波形) と FFT 解析結果 (サンプリング周波数 1kHz)

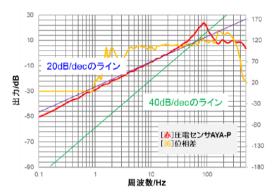


図 6 AYA-P の出力信号の周波数依存性

AYA-P は,生体の生み出すさまざまな微小振動を高感度・高精度に検出する.

心臓・動脈の振動に関しては,AYA-Pが骨格・骨格筋近傍に設置された場合は,心弾波(骨格・骨格筋に伝達された心拍動に伴う振動)が検出され,動脈近傍に設置された場合には,脈波(心臓拍動に伴う動脈壁の振動)が検出される.また,その他,呼吸に伴う振動や寝返り等の体動を連続的に同期で検出することができる.

さらに, AYA-P は振動を検出するセンサであるため, センサを直接被験体に当てなくても振動 伝達媒質経由で脈波や心弾波を検出することが可 能である.

この技術を応用してカーシートやマットレスに 組み込んだセンサによる脈波や心弾波,呼吸波形 などの検出を実現している.

2.5 AYA-P が速度検出型センサであることの 検証

AYA-P で得られる信号に対して,音響解析的

検証実験を実施した.オーディオスピーカのコーン紙中央に AYA-P を固定し,スピーカに 0.1Hz から 500Hz の三角関数波を入力, AYA-P の出力信号の周波数依存性を観測した.

その結果,AYA-P の出力信号の周波数依存性は 20 dB/decade となり,AYA-P は振動の速度信号を出力していることが検証された(図 6).

また,本検証実験機の限界である0.1Hz まで線形であるため,0.1Hz を超えるリニアリティを有していることも推定できた.

本研究で使用した振動センサの音響解析原理は 以下の通りである.

振動系の変位を x , 振幅を A , 角周波数を $\omega (= 2\pi f, f$ は周波数) , 時間 t とすると ,

$$x = A\sin(\omega t)$$

速度vは時間微分であるため,

$$v = A\omega\cos(\omega t) = 2\pi A f\cos(2\pi f t)$$

加速度 α は, さらにその時間微分であるので,

$$\alpha = -A\omega^2 \sin(\omega t) = 4\pi^2 f \sin(2\pi f t)$$

信号部分を落とし,対数を取ると

$$\log(v) = \log(f) + C_1$$
$$\log(\alpha) = 2\log(f) + C_2$$

出力 (dB) は $20\log(y)$ であるため ,周波数が 1 桁変わった時に出力差が 20dB であれば速度信号であり ,40dB であれば加速度信号である .また ,周波数依存性がフラットであれば変位信号となる . AYA-P では 20dB であったので速度信号を出力していることが判明した .

3. AYA-P システムの構成とスペック

3.1 構成の概要

AYA-P システムは , ハードウエア , ファームウエア , ソフトウエアから構成される .

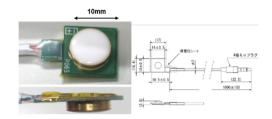


図 7 AYA-P06S の外形 (写真と図面)

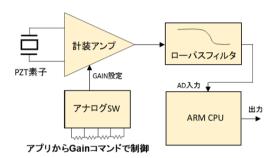


図8 AYA-P06S の回路ブロックダイアグラム

ハードウエアは , AYA-P06S(センサ部) , AYA-P05C(コントローラ部) , その他ケーブル・分岐ソケット , センサホルダ等の部材から構成される .

ファームウエアは ,AYA-P06S 用と AYA-P05C 用の 2 つがあり ,ファームウエアを実装すること で多機能多目的のスマートセンサを実現している .

ソフトウエア (アプリケーション) には, Android 用の Smart Pulse Analyzer と Smart FFT Analyzer(いずれも Play Store からダウンロード可能) と, Windows PC 用のあじゃたーむ (あじゃら氏によるフリーウエアで波形表示と設定変更に使用するターミナルソフト) 用の設定ファイルとPWV 等の測定に使う AYAPMulti がある.以下ハードウエア部と一部のソフトウエアに関して概説する.

3.2 AYA-P06S

センサ部である AYA-P06S の外形を図7 に,回路ブロックダイアグラムを図8に示す.そのスペックは以下の通りである.

サイズ: 14 × 14 × 3.0mmH(ケーブル部を除く),動作電圧: 3.3V typical (1.9-3.6V)),消費電流:300uA av. at 200Hz sampling,200Hz ローパスアナログフィルタ内蔵,AYA-P05C によりサン



図 9 AYA-P05C 外観

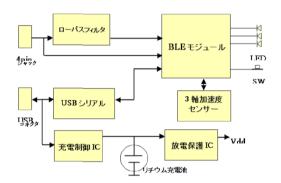


図 10 AYA-P05C の回路ブロックダイアグラム

プリング周波数やデジタルフィルタ等を自由に設 定可能.

3.3 AYA-P05C

コントローラ部である AYA-P05C の外観を図 9 に , 回路ブロックダイアグラムを図 10 に示す . スペックの概要は以下の通りである .

サイズ: 50mm × 35mm × 15.4mmh(凸部を除く), データ出力: 有線・無線の両方に対応,電源: USB 充電+2 次電池 or 1 次電池 (CR2032), 消費電流: 900uA av. with AYA-P06S at 200Hz sampling

また,コマンドモードから,接続方式,サンプリング周波数,デジタルフィルタ等さまざまなパラメータを設定することが可能で,カスタマイズした使い方を可能としている.

さらに、複数の AYA-P06S センサを分岐 コネクタで接続して、複数センサの出力

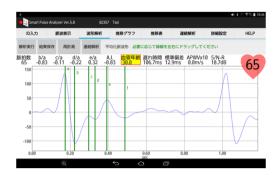


図 11 Smart Pulse Analyzer 脈波解析画面

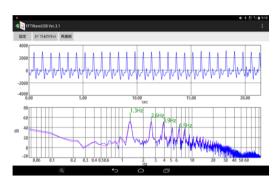


図 12 Smart FFT Analyzer による 波形と FFT 解析結果表示

を同期出力させることが容易にできる.

3.4 Smart Pulse Analyzer

Android ベースの脈波解析アプリケーションで Play Store からダウンロード可能である.

被験者 ID 管理とデータ収集機能を搭載し,タブ型アプリで,バッチ解析モードと連続解析モードを有し,加速度脈波解析,PWV 測定・容積脈波振幅測定・心拍出量測定等を行うことができる.図 11 にバッチ解析時の脈波解析画面を示す.

3.5 Smart FFT Analyzer

Android ベースの脈波解析アプリケーションで Play Store からダウンロード可能である.

AYA-P で取得したデータのリアルタイム FFT 解析を行うことができる.図 12 に Smart FFT Analyzer によって得た波形と FFT 解析結果の例 を示す.

3.6 AYA-PMulti

Windows ベースの脈波解析アプリケーション である、最大 4 チャネルの AYA-P06S センサの

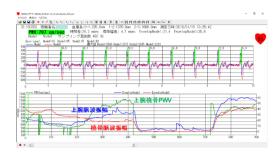


図 13 AYA-PMulti による PWV と容積脈波振 幅の測定例

出力を同期解析することができ,PWV測定や容積脈波振幅の高精度解析を可能としている.測定例を図13に示す.

4. AYA-P の医療応用

4.1 想定される医療応用分野

AYA-P は生体などが生み出す極微小な振動を 高感度に検出する速度センサである.

生体が生み出す振動としては心臓・動脈が生み 出す振動,呼吸により発生する振動,その他体動 等の筋肉運動による振動がある.

心臓・動脈にかかわる振動に関してはセンサを 設置する場所によって検出される生体信号が異な り、骨格・骨格筋近傍では、心弾波(心臓の弁の動 作に伴う振動)が検出され、動脈近傍に設置した 場合には、脈波(心臓拍動に伴う動脈壁の振動) が検出される.

これらの生体信号を AYA-P を使って高精度に 取得し解析することによって,以下の医療応用が 想定され,研究が始まっている.

循環器系

- ・加速度脈波解析 (SDPTG)
- ・脈波伝播速度 (PWV)

baPWV

心弾脈波 aoPWV

Local PWV

- · 容積脈波振幅変化
- ・血管内皮機能検査
- ・心拍出量変化
- ・心弾波解析を使った心臓機能検査

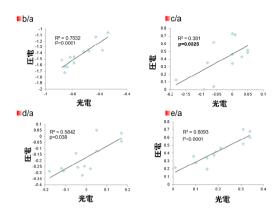


図 14 光電加速度脈波と圧電加速度脈波の相関

- ・心弾波と脈波による R-R 解析 呼吸器系
- 呼吸解析
- ·無呼吸症候群検出

体動

- ・寝返り回数
- ・歯ぎしり

ここでは , 共同研究による研究成果の一部の概要を述べ , AYA-P の医療応用の可能性を探る .

4.2 加速度脈波解析 (SDPTG)

加速度脈波解析に関しては,岐阜医療科学大学の田中先生との共同研究を紹介する.

21-23 歳の健康成人 6 名を被験者とし,示指に 装着して測定した光電脈波(フクダ電子 SDP-100) と環指に装着して測定した圧電脈波(AYA-P)を 使用して,以下の項目を評価した.

- ・光電式指尖容積脈波を2次微分して求めた加速度脈波と圧電脈波を1次微分して得た加速度脈波の相関(b/a, c/a, d/a, e/aを評価)
- ・Valsalva(息こらえ) 試験・起立試験による総末 梢血管抵抗と加速度脈波の関係

d/a と総末梢血管抵抗の関係

なお,AYA-Pに関しては測定にSmart Pulse Analyzer を使用した.結果を図 14,15に示す.

光電脈波と圧電脈波の相関を調べた結果,光電脈波と圧電脈波は,どの成分も,いずれの試験でも有意な正の相関を示した.しかし相関式はy=xではなかった.原因としては,光電脈波が血管内

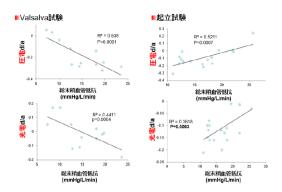


図 15 Valsalva 試験・起立試験による総末梢血管 抵抗と圧電・光電加速度脈波

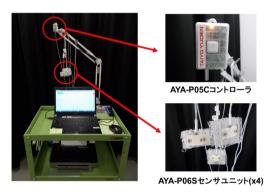


図 16 杏林大学で臨床研究に使用している AYA-P システム

容積の変化を測定しているのに対し,圧電脈波は 血管外壁の変化を観測していることがあげられる.

Valsalva 試験・起立試験での総末梢血管抵抗と 加速度脈波 (d/a) の相関性に関しては, すべての 場合で圧電脈波の方が光電脈波よりも高い相関を 示した.

4.3 baPWV

baPWV に関しては, 杏林大学原島先生との共 同研究を紹介する. 杏林大学では, 4 個の AYA-P06S センサを接続した AYA-P システムを使っ て.PWV の測定を行っている.図16に杏林大 学に設置した AYA-P システムの外観を示す.

PWV の測定には、図 13 に示した AYA-PMulti を使用し,既存医療機器(フクダコーリン製 form PWV/ABI) との相関性を調べた. AYA-P と form PWV/ABI のセンサをそれぞれ, 左右の 上腕と足首 (form) 及び足背 (AYA-P) に装着し



上腕動脈部位





最新版 AYA-P Multi Ver4.03 は4チャンネルの同時記録が

図 17 baPWV 測定用 AYA-P センサ装着例

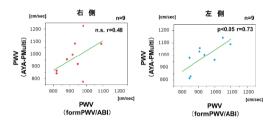


図 18 AYA-P Multi および formPWV/ABI で測定した baPWV の相関

baPWV を測定した、AYA-P のセンサを装着し た状態を図 17 に示す.

form はトノメトリ法であるためカフ締め後測 定.AYA-P はカフなしで測定している.被験者 は 21-23 歳の健康成人 9 名 (男性) である.

評価結果を図18に示す. 左側は有意な相関を得 ることができたが,右側はあまり高い相関が得ら れなかった、若年男子のみという被験者群であっ たことも原因と考えられるが, AYA-Pと formで, 測定時のカフ締めの有無も関係していることが別 途行った実験で推定された.

4.4 心弾脈波 aoPWV

福島医大勝田先生との共同研究で、心弾脈波 PWV の研究を進めている. 粥状硬化病変は大動 脈を中心に存在し,加齢とともに末梢部位へと進 展するので,大動脈のPWVである aoPWV は動 脈硬化のインデックスとして最も直接的な計測手 法である.

しかし,実際の臨床では,aoPWVの計測は,

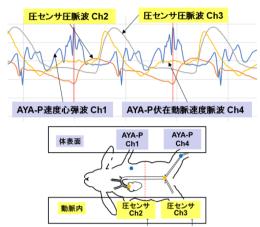


図 19 うさぎを使い同期で測定した.胸壁の皮膚表面に貼った AYA-P による速度心弾波 (Ch1),上行大動脈内に挿入したカテーテル型圧センサによる圧脈波 (Ch2),腹部大動脈遠位端に挿入したカテーテル型圧センサによる圧脈波 (Ch3),膝関節部の皮膚表面に巻き付けた AYA-P による速度脈波 (Ch4)及び各センサの概略位置

侵襲的には心臓カテーテル検査時など特殊な条件下で圧センサを血管内に挿入するか,非侵襲的には MRI など大がかりな装置を使用して行われるしか方法がないため,代わりの手法として,計測しやすい2本の動脈から大動脈を挟むように脈波速度が計測されている.欧米では総頸動脈・大腿動脈間の cfPWV が gold standard であり,我が国では,上腕動脈 足首動脈間脈波速度 baPWV が最も多く計測されている.

しかしいずれの手法も、大動脈を挟んでいるものの2つの動脈に伝達する脈波の到達時間差である上、筋性動脈が多く含まれるため、本来必要なaoPWVとの差は大きい、このような問題を避けるために、できる限りaoPWVに近似したPWVを計測するシステムの開発が求められている。

筆者らは, AYA-P を胸骨付近に装着することで,心臓の収縮・弛緩に伴う血流振動によって発生する明瞭な心弾図を検出できることを見出した.図 19 にうさぎを使って, 大動脈内に挿入したカテーテル型圧センサの圧脈波波形と体表面に取り付けた AYA-P による速度波形および設置した位置を示す.

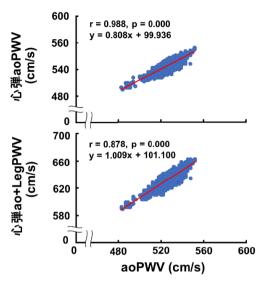


図 20 カテーテル型圧センサ 2 つを動脈内に入れて 測定した aoPWV と体表面に貼った AYA-P に よる心弾図と腹部大動脈遠位端の圧センサを使った心弾 aoPWV 及び, AYA-P のみを使った心弾 ao+LegPWV の相関

図 19 から ,上行大動脈内に挿入したカテーテル型圧センサによる圧脈波の立ち上がりと胸壁の皮膚表面に貼った AYA-P による速度心弾波の第 2ピークはほぼ一致することが分かったため ,これを使って ,体表面に貼ったセンサにより ,aoPWVに近似した PWV を測定することが可能になった .

図 20 に ,カテーテル型圧センサ 2 つを動脈内に入れて測定した aoPWV と体表面に貼った AYA-P による心弾図と腹部大動脈遠位端の圧センサを使った心弾 aoPWV 及び , AYA-P のみを使った心弾 ao+LegPWV の相関を示す , 本相関は ,特定個体の結果ではあるが ,非常に高い相関がえられており ,実用化への高い可能性を示している .

5. 終わりに

ここでは,現在注目されている生体が生み出す極超微振動を高感度に検出できる速度検出型の圧電振動センサ AYA-P の概要とその医療応用の可能性について,その一部ではあるが,最新の研究開発の状況を解説した. AYA-P は,これまで簡単には検出できなかった生体が発生している微振動

を容易に検出できるという「新しい目」を医療の世界に提供するものであり、ここには書ききれなかった、さまざまな応用の可能性も見えてきている。この新しい目を使ってみたい方がいらっしゃりましたら、地の果てまででもサンプルをもってご説明に参りますので、ぜひ、ご一報お願いいたします。

参考文献

[筆者らによるもの]

- K. Kobayashi, T. Ishiguro, Y. Doshida, T. Gotoh, H. Kishi(太陽誘電), "Piezoelectric pressure wave sensor for health care application," The 12th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology, p.142, 2017.
- 2. 石黒隆 (太陽誘電), 「新構造圧電センサ AYA-P の 開発とその応用」, 電気学会講演会 (電気学会群馬 支所), 2017.
- 3. 石黒隆 (太陽誘電),「超高感度スマート圧電振動センサ AYA-P の医療応用」,第 36 回日本麻酔・集中治療テクノロジー学会,2018.

[生体情報検出技術・ノイズ対策技術に関わるもの]

- 4. Yuka Maeda, Masaki Sekine, Toshiyo Tamura, Takashi Ishiguro, Koichi Mizutani(筑波大学,太陽誘電), "Accuracy Evaluation of a Heart Rave Variability Monitor Based on Piezoelectric Device, "Proceedings of Life Engineering Symposium 2017(LE 2017).
- 5. Hotaka Takada, Takashi Ishiguro, Tomomi Ogawa, Hiroki Matsumoto(前橋工科大学, 太陽誘電),「自動車走行中における脈波の抽出手法の提案」, RISP International Workshop 2018.
- 6. 野田 拓司,船瀬 新王,石黒 隆,内匠 逸(名工大,理研,太陽誘電)、「文音読時の精神疲労が LF 帯および前頭葉における 周波数帯に与える影響について」、第57回日本生体医工学会大会、2018.
- 7. 肥後拓也, 石黒隆, 小河誠巳, 松本浩樹 (前橋工科大, 太陽誘電), 「自動車運転中に脈波を抽出するための ブロック BSS 手法の提案」, 第 33 回信号処理シンポジウム, 2018.
- 8. 船瀬 新王ら (名工大) ,「圧電センサによる脈波 R-R 解析 (仮題)」, 電気学会 医用・生体工学研究会, 2019.

[医療機器としてのエビデンスに関わるもの]

9. 大村直子, 富原健, 小和田絵里奈, 古川泰司 (帝京大学医学部附属病院), 「圧電脈波センサの有用性の検討」, 第60回脈波解析研究会, 2017.

- を容易に検出できるという「新しい目」を医療の 10. 田中邦彦、石黒隆 (岐阜医療科学大学,太陽誘電)、世界に提供するものであり、ここには書きされな 「姿勢変化時の循環動態と加速度脈波」、第 61 回脈 波解析研究会、2018.
 - 11. 勝田新一郎, 石黒隆, 堀越裕子, 藤倉佑光, 星康裕, 挾間章博 (福島県立医科大学, 太陽誘電), 「圧電センサーを活用した非侵襲的脈波速度計測の試み・ウサギを用いた実験的検討」, 第61回脈波解析研究会, 2018.
 - 12. 田中邦彦, 石黒隆 (岐阜医療科学大学, 太陽誘電), 「起立負荷およびバルサルバ手技にともなう加速度 脈波の変化」, 第55回日本臨床生理学会総会, 2018.
 - 13. 小野哲治, 石黒隆 (群馬パース大学, 太陽誘電), 「インテリジェント圧電センサ (AYA-P) を用いた連続 心拍出量モニタの開発」, 第 56 回人工臓器学会大会、2018.
 - 14. 勝田新一郎, 石黒隆, 堀越裕子, 藤倉佑光, 星康裕, 挾間章博 (福島県立医科大学, 太陽誘電), 「圧電センサーを活用した心弾脈波 PWV ウサギを用いた実験的検討 (仮題)」, 第5回日本血管血流学会, 2018.
 - 15. 設樂佑介,原島敬一郎,石黒隆,中村英明,大崎佳海,長恵,芝翔平,中島哲,岸野智則(杏林大学,太陽誘電),「超高感度スマート圧電振動センサーの試用経験」,第5回日本血管血流学会,2018.
 - 16. 原島敬一郎, 大崎佳海, 長瀬 恵, 設樂佑, 中村英明, 芝 翔平, 中島 哲, 岸野智則 (杏林大学), 「超高感度スマート圧電振動センサーの専用ソフトウェア AYA-P Multiの試用経験」, 第55 会日本臨床生理学会総会、2018.

ABSTRACT

Medical applications of AYA-P, the smart piezoelectric vibration sensor with ultra-high sensitivity

Tad Ishiguro

"AYA-P" is a digital and intelligent piezoelectric vibration sensor which was developed by ADTEX Inc. based on its material, circuit and software technologies. AYA-P can detect the velocity of the low frequency vibration with 0.01-30Hz generated by the creature extremely accurately.

The AYA-P system constructed from the AYA-P sensor, firmware and applications can detect and analyze the arterial pulse waveform, the ballistocardiographical waveform, the respiratory waveform and more noninvasively and

synchronously at a lot of points of the skin surface. The expected applications shall be the pulse wave velocity measurement, the cardiac output analysis, the vascular endothelium function testing, the apnea syndrome detection and more. This paper summarize the latest progress

of the medical and healthcare applications of AYA-P.

Keywords:

AYA-P, ADTEX, Sensor, PWV, arterial pulse, ballistocardiography

シンポジウム「JSA PIMS とどう付き合うか?」 -JSA PIMS に関するアンケート-内田 整

はじめに

第36回日本麻酔・集中治療テクノロジー学会 で企画したシンポジウム「JSA PIMS とどう付き 合うか?」では, JSA PIMS の現状を知るために Web アンケートを実施した、アンケートは 2018 年 10 月 11 日~11 月 18 日の期間, 学会の公式 ホームページ上で公開し,74件の回答を得た.ア ンケートの回答数は多くないが、JSA PIMS を管 理あるいはデータ入力している麻酔科医の生の声 が反映された結果となった.

アンケートの質問

アンケートは総数15問で構成され,回答者およ び所属施設のプロフィール, JSA PIMS の使用目 的 . JSA PIMS へのデータ入力 . JSA PIMS の設 定と管理, JSA PIMS と他のシステムとの連携, JSA PIMS のサポートデスクに関する質問を行っ た.また,選択肢による回答以外にフリーコメン ト欄¹を設けた.

アンケート結果

1. 回答者の内訳と所属施設

アンケート回答者のうち . 68 % は JSA PIMS の管理を行っている麻酔科医,残り32%が一般 ユーザーであった.回答者が所属する施設のプロ フィールを図1に示す.大学病院,公立病院,そ の他の病院がほぼ3分の1ずつで,また,施設の 麻酔科医数に大きな偏りはなかった.

2. JSA PIMS の使用目的

主な目的は日本麻酔科学会への年次報告(偶発症 PIMSの使用目的からすれば当然の結果と言える.

調査) と専門医の申請・更新で, それぞれ, 93%, 87 %の施設がそのように回答した.しかし,こ れらの数字から、アンケートに回答した施設のう ち大学病院を含む全体の 20 %が, 年次報告と専 門医申請・更新のいずれかを JSA PIMS を使用 せずに行っていた結果になった.上記2つ以外の 目的における JSA PIMS の使用頻度は低かった. 診療統計や症例検索における使用は回答した施設 の3分の1,また,臨床研究や手術予定表作成は それ以下であった、これらの結果から、日本麻酔 科学会に関係する年次報告と専門医申請・更新を 除いた業務に対しては、多くの施設がJSA PIMS 以外のツールを使用しているのが現状であった.

JSA PIMS には麻酔台帳機能があるが,この機 能を使用している施設は43%であった.残りの 約6割の施設は他のシステムを使用して麻酔台帳 を運用しており、その中で最も多いのは AIMS(麻 酔情報管理システム) の台帳機能であった.

3. JSA-PIMS へのデータ入力

図3にJSA PIMSへのデータ入力に関連する 質問の回答を示す.入力手段に関しては,41%の 施設が AIMS からの自動転送を行っていた. 残り の約6割の施設では手入力により入力を行ってい たが、そのうち症例担当医による入力が36%で あった.通常, AIMS へのデータ入力は担当医に より実施される.これを考慮すると,データ入力 の約8割が症例担当医により行われていたことに なる.

入力データの内容では, 学会提出データがほ JSA PIMS を導入している目的を図2に示す. ぼすべての施設で入力されていた.これは、JSA

千葉県こども病院 麻酔科

 $^{^1}$ 注本稿ではフリーコメントの回答は省略するが , $_{
m LiSA}$ 2019:26;778-82 に掲載されているので参照されたい .

しかし,学会提出データ以外を入力している施設 は多くなく,合併症の入力は35%,輸血量の入 力は45%でともに50%以下であった.また,手 術に関わる外科系医師や看護師名を入力している 施設も50%以下であった.

入力されたデータのチェックは , JSA PIMS の 担当者や麻酔科責任者などにより 70 %の施設で 行われていた.しかし,残りの 30 %の施設では チェックが行われていなかった.これは,入力デー タの精度・信頼度からは大きな問題であり,今後, 何らかの対応が必要であろう.

4. JSA PIMS の設定と管理

JSA PIMS のシステム設定と保守・管理に関する質問の回答はほぼ同じ結果となった(図4).回答施設のうち3分の1は麻酔科医が自ら,さらに,医療情報担当部門を含めると全体の3分の2において施設内のスタッフがJSA PIMS の設定と管理を行っていた.結果として,機器ベンダーを含めた外部への業務委託は少数派であった.AIMSなど,他のシステムとの連携においてモニター機器ベンダーの協力は不可欠であるが,作業の外注は費用面の制限もある.そのため,JSA PIMS の

設定と管理は職員の負担で行っているのが実情と 思われる.

5. JSA PIMS と他のシステムの連携

JSA PIMS と AIMS を連携している施設は 66%, HIS(病院情報システム) と連携している施設は 7%で,全体として 70%以上の施設でシステム間の連携を行っていた (図 5).しかし,システム連携を行っている施設のうち,連携が機能していると回答した施設は 52%であり,残りの約半数は連携に何らかの問題があると回答した.確実なシステム連携を提供するためには,システム間で技術的な調整が必要であろう.

6. JSA PIMS のサポートデスクについて

JSA PIMS のサポートデスクを使用したと回答したのは 27 %であった (図 6) . サポートデスクの対応に関する回答の選択肢は [非常によかった] [よかった] [どちらともいえない] [悪かった] [非常に悪かった] の回答はなく,全体の 18 %は [悪かった] [非常に悪かった] の回答で,サポートデスクに対する評価は高くなかった.

病院の区分	大字病院 公立病院 (28%) (32%)		その他の病院・診療所 (39%)			
麻酔科医の人数	20人以上	10~19人 (19%)	5~9 (28		5人未清 (26%)	<u>+</u>
年間症例数	3000件以上		1000~29 (41%		500~ 999件 (14%)	500件 未満 (8%)

図1.アンケート回答者の所属施設プロフィール

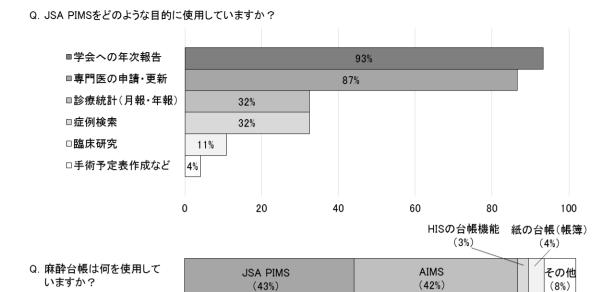


図 2 . JSA PIMS の使用目的

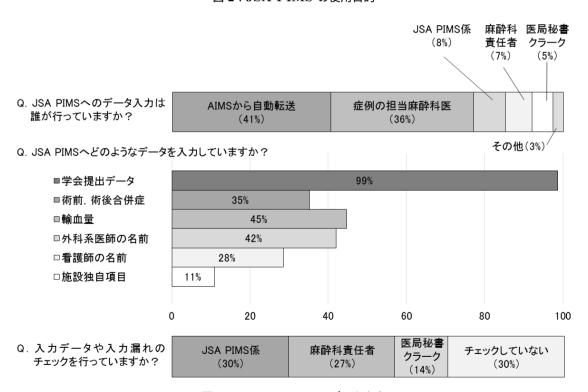


図 3 . JSA PIMS へのデータ入力

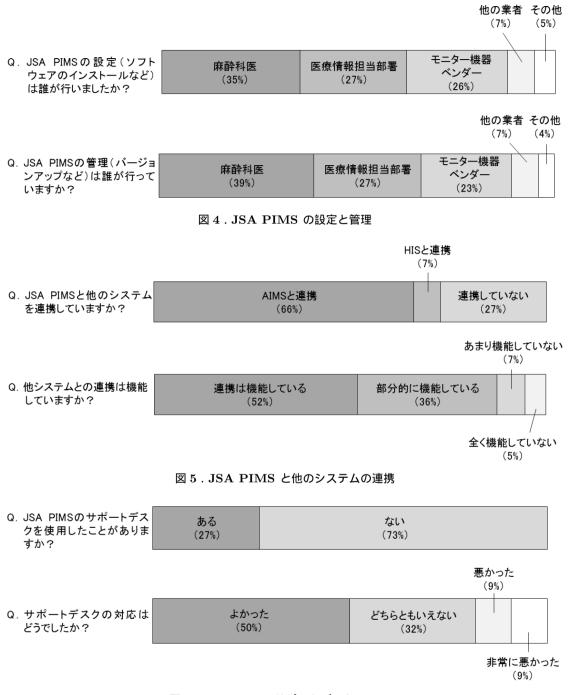


図 6. JSA PIMS サポートデスクについて

シンポジウム1「JSA-PIMS とどう付き合うか?」―基調講演「JSA PIMS の起源と想い」―讃岐美智義

JSA PIMS とは何か?

JSA PIMS が,日本麻酔科学会が無料配布している麻酔症例登録データベースであることは,よく知られている.しかし,AIMSのように麻酔中の電子記録の作成と麻酔管理に役立つ情報表示機能は持っていない.JSA PIMS は,いわゆる麻酔台帳ソフトウェアである.JSA PIMS の最大の特徴は,電子的登録した麻酔症例(院内のローカルデータベース)から日本麻酔科学会が必要とする定型データを出力できる機能をもつことである.

現在,日本麻酔科学会が配布しているJSA PIMSは,2019年から認定病院では導入が必須化された.これまでの麻酔関連偶発症例調査だけでなく,認定病院の年次報告,2019年度以降麻酔科専門研修プログラムの専攻医の症例登録もJSA PIMSで行うことが必須となる.

JSA PIMS の役割変遷と必須化の背景

JSAPIMS の導入は麻酔関連偶発症例調査を詳細に行う目的ではじまった.麻酔関連偶発症例調査は,麻酔科学会の認定病院で行われた麻酔症例で,患者の死を覚悟した症例(麻酔関連偶発症例)と神経系合併症の把握のために毎年,行われる調査³⁾である.

1992年に予備調査を開始,

1994~1998年:第1次調査(調査形式の統一,偶発症例の発生頻度・成因・麻酔法との関連・予後に関する検討),

1999~2003 年:第2次調査-形式の変更(年齢区分・ASA PS・手術部位・麻酔法の各項目を追加),

2004~2008 年:第3次調査(学会推奨による麻酔台帳データベースソフトとの連携,全症例の基

本情報把握,体位・性別の項目追加,調査対象に神経損傷を追加,予後評価の変更),以後5年ごとに調査形式の変更が加えられ,現在,第6次調査(2019年~)というべきフェーズに入った.麻酔関連偶発症例では,全症例の基本情報(患者背景)を把握するために電子化することで詳細データを収集する目的で,第3次調査から日本麻酔科学会がJSA麻酔台帳(後のJSA PIMS)を無料配布した.

JSA 麻酔台帳の起源は, 1999 年に私が開発し フリーソフトウェアとして配布した統合型手術室 業務支援システム ASA-OS^{4,5)} (当時に勤務して いた"安佐市民病院手術室支援システム"の略)と いう手術症例管理システムの麻酔台帳部分を改変 したものである、第4次麻酔関連偶発症例調査用 の電子ファイルの作成を目的に作成した JSA 麻 酔台帳 Ver 3.25 が ,日本麻酔科学会の公認麻酔台 帳として 2003 年に採用された.配布パッケージ, マニュアル作成,質問を受付などのメンテナンス は,すべて無償で私一人のボランティアであった 6) . いまでも , この JSA 麻酔台帳のマニュアル 6) をみると感慨深いものがある、2年ほど、日本麻 酔科学会会員に無償で配布されたが,一個人の努 力によるものでは継続が困難であるため,2006年 から日本麻酔科学会は,日揮情報システム(現,オ レンジシステム) に委託して JSA 麻酔台帳 (2010 年から名称を JSA PIMS に変更) を開発し配布 した. JSA PIMS では,電子カルテとの連携,自 動麻酔記録装置との連携など病院情報システム系 のネットワーク運用できる機能を追加した. JSA PIMS の導入当初は,手作業によるインストール では導入は難しく,会員から多くの非難を浴びた. その後,自動インストール可能なインストーラーの整備をはじめ,各種機能追加を経て,現在の JS-APIMS 2019 に至った.また,JSA PIMS へルプデスク $^{7)}$ が開設されており,運用での質問をはじめ各種トラブルに対しての解決法を提供している.

今回の JSA PIMS の必須化の背景には,2019 年度以降麻酔科専門研修プログラムの専攻医の症例登録によるところが大きい.思いがけぬ方向で必須化された JSA PIMS ではあるが,本データベースは専門医の資格認定のみに利用されるのではなく,わが国の麻酔科の症例データベースとして利用できるようになることが筆者の想いである.

JSA PIMS の起源と歴史

1999 年	ASA-OS 配布 フリーソフトウェア
2004 年	JSA 麻酔台帳 Ver 3.25 日本麻酔科学
	会公認台帳
2005 年	JSA 麻酔台帳 2005
2006 年	JSA 麻酔台帳 Ver 1.0-3.1 日揮版,
	ネットワーク対応
2010 年	JSA PIMS2010 Ver 4.0 JSA PIMS
	に名称変更
2016 年	JSA PIMS2016 Ver 5.0
2019 年	JSA PIMS2019 Ver 6.0 認定病院導
	入必須化
2019 年	JSA PIMS2019 Ver 6.0 認定病院導
	入必須化

参考文献

JSAPIMS(麻酔台帳)2019 ver6.0 リリース後の対応事項について

- https://www.jsa-pims.org/archives/1668 (2019年5月5日閲覧)
- 2. https://www.masuika.org/entry/2018/10/11 /201938

日本麻酔科学会認定病院では JSAPIMS(麻酔台帳) が 2019 年 1 月 1 日から必須になります! (2019 年 5 月 5 日閲覧)

3. 麻酔関連偶発症例調査(3)

https://www.mhlw.go.jp/shingi/2005/04/dl/s0406-6c1.pdf

(2019年5月5日閲覧)

 讃岐美智義:手術室業務支援システム (ASA - OS) の開発.

麻酔・集中治療とテクノロジー 2000(1):55-61,2000. URL: http://jsta.net/pdf/2000.pdf(2019 年 5 月 5 日閲覧)

5. ASA-OS : ASA city hospital - OR Support system

http://www.jsta.net/jsta2000/abstract /JSTA0009.html (2019年5月5日閲覧)

- 6. JSA 麻酔台帳: https://msanuki.com/nifty/pub/031128JSAman.pdf (2019年5月5日閲覧)
- 7. JSA PIMS ヘルプデスク: https://www.jsa-pims.org (2019 年 5 月 5 日閲覧)



図 . JSA 麻酔台帳 2015 サポート WEB サイト

シンポジウム 1 「JSA-PIMS とどう付き合うか?」 -麻酔科学会の立場から-澤 智博

JSAPIMS は,日本麻酔科学会が配布する麻酔 症例情報管理データベースシステムである. 日本 麻酔科学会による偶発症例調査事業を支援する目 的で 2004 年より JSA 電子麻酔台帳として配布が 始まり、2006年より医療情報システムの一環とし て開発・配布が始まった. 開発のコンセプトとし て,ネットワーク上での利用,標準規格の採用,仕 様の公開・オープンソース化,がある.2017年時 点で600以上の医療施設で運用され,年間100万 症例以上がデジタルデータとして JSAPIMS を通 じて収集されている、米国麻酔科学会における麻 酔関連データベース・症例登録国際フォーラムに おいて,周術期症例登録ソフトウエアとしては世 界最大の配布数であり,症例登録数も米国に次ぐ 規模となっていることが確認されている.データ ベースから集計したデータは,日本麻酔科学会に おける医療安全事業に活用されている.また,臨 床効果データベース事業の一環として JSAPIMS データベースの分布データのクラウドサイトを会 員向けに提供開始している.

JSAPIMS 初版の開発・提供から十数年を経過し、それを取り巻く環境は大きく変化した、具体的には、ユーザーの増大と多様化、個人情報保護法など法や規制の変化、電子カルテや AIMS を含む医療情報システムの普及、である、

ユーザーの増大と多様化に関しては,新専門医制度の臨床実績データの記録をJSAPIMSにて行うことから使用施設数の大幅な増大が見込まれている.これに伴い,従来は自主的な導入施設を対象としていたサポート内容に加え,広い範囲のITリテラシーや使用環境に対応したサポート体制を必要としている.また,従来からの利用者に対応

したバックワードコンパチビリティに重点を置いているが,最新版からのユーザーにとってはユーザビリティを損なう側面もあることから今後の対応が必要と考えられる.

個人情報保護法や医学研究に関する法規制の変化はデータの収集について大きな影響を与えている.同時に,前項に関連して導入施設数の増大は,収集データ項目の設定や改変を難しいものとしている.一般的にデジタルデータの収集においては,データ量の増大に伴い,できるようになることと,できなくなってしまうことがあり,そのバランスが重要となる.

電子カルテや AIMS を含む医療情報システムの普及は歓迎すべきことであり, JSAPIMS はそれに応じた変化が求められる. 相互運用におけるシステム連携の方法・データ連携項目, 術式・病名・薬剤等のマスターの選定とその整備・運用, 標準規格への対応と貢献が主なポイントである.

医療の電子化は診療現場において必須のこととなり、世界レベルでは Data-Driven Health , 我が国の政策においてはデータヘルスという語が注目される中,日本麻酔科学会と企業が協力し取り組むべきと演者が考える項目は次の四点である.偶発症を含む周術期医療に関する用語・コードの整備,AIMS・PIMS連携を軸とし電子カルテシステムとの相互運用に関するリファレンスモデルの策定,麻酔記録に関するデータモデル,AIMSのユーザーインターフェースとソフトウエア挙動に関する情報共有と提供,である.

JSAPIMS が最大数のユーザーの要求を満たしつつ,周術期医療の現場で役に立ち,かつ,医療の安全確保と質向上に寄与することを期待したい.

ユーザーから見た偶発症調査:管理者の立場から 星 拓男

現 状

近年手術室では,手術をするだけではなく手術 関連の様々なデータを取り安全で効率的な手術室 運営に役立てている.茨城県立中央病院の手術室 では,麻酔科学会への年次報告用データ,麻酔科 専門医などの申請用の個人データ,半月毎の各科 手術件数推移と平日一日あたりの手術件数,毎月 の予定手術時間と実際の手術時間の各外科医の個 人データ,半年ごとの手術枠利用率と手術枠外緊 急手術数を出しており,病院の運営上の会議資料 にしたり,手術時間の正しい申込みを促したり, 手術枠の見直しに使用したりしている. 麻酔情報 管理システム (Anesthesia Information Management System: AIMS) を使用し,その情報を日本 麻酔科学会麻酔台帳 (JSAPIMS) へ送信して入力 している施設にとって、情報の流れは AIMS から JSAPIMS へとの一方通行的な流れが一般的で, 情報の量も AIMS の方が遥かにたくさんの情報 を持っていることが普通である. AIMS を使用し ている場合, AIMS には様々な統計機能や検索機 能があるため, 学会提出以外のデータの抽出には AIMS を用いている施設が多いと思われ,実際に インターネット上の麻酔科医のコミュニティで のアンケートでも JSAPIMS は麻酔科学会への提 出目的にしか使用されていない施設が多く,他の データの抽出に使用している施設は見られなかっ た¹⁾.

JSAPIMS を管理している立場としては ,AIMS で JSAPIMS に情報を送る作業をしていることの 確認と JSAPIMS で確定操作がされていること, 偶発症を見つけた際に JSAPIMS への入力を指示 するくらいで特別なことはしていない.

問題点と JSAPIMS への要望

る偶発症調査について,「学会で予防対策をたて, これらの病院(認定病院)に指導し,模範的対策を 発信することができる .. と記載している²⁾. しか し、偶発症調査に関する調査結果の発表は2011年 の調査のものを最後にされておらず3),周術期肺 血栓寒栓症調査のものも 2013 年の調査のものを 最後にその後は発表されていない4).一方同じ学 会ベースのデータベースである National Clinical database (NCD) は2010年に設立され、2017年に は参加施設 5000 施設以上,累計登録症例数 969 万 件を超え, 術後アウトカムの予測値などのフィー ドバックを行っている 5). 加えて, Pub med で 「National Clinical database」,「Japan」で検索す ると 68 件の文献が出てくるほどそのデータの活 用がなされている 6) が、JSAPIMS では何も検索 されない. 2018年11月20日より漸くJSAPIMS データベースの内容の一部が公開されたが,麻酔 法の分布, ASAPS の分布, 年齢区分別 ASAPS の分布のみであり、「学会で予防対策をたて,こ れらの病院 (認定病院) に指導し,模範的対策を 発信することができる.」としている学会調査の 本来の目的とは程遠いものとなっている.

2019 年度以降 JSAPIMS は必須化される. し かし必須化されるにもかかわらず JSAPIMS2019 に関する情報が出るのが遅く,多くの AIMS を使 用している施設では連携の対応が間に合っていな い.つまり,2019年はかなり不確かな情報が提 出される可能性も高いと考えられる.

さらに偶発症の拾い上げは,術後回診終了後の 術後2日目以降に発生したものや再手術となり麻 酔科医の目に触れたものや,ICU などに入室し麻 酔科医の目に触れた症例以外は非常に難しい、ま た,術後いつまでに発症した偶発症を入力するの かもはっきりしない.(術後8~30日以内の死亡 日本麻酔科学会のサイトには, JSAPIMS によ という選択肢があるため 30 日までなのか)

またさらに, AIMS との連携の問題でも不正確な情報を提出してしまう可能性がある. 当院では患者が手術室に入室すると AIMS ではデフォルトで仰臥位が入力される. そして最初に入力された体位のみが JSAPIMS に送信されていたため, 2017年の報告 2951 症例中 2949 症例が仰臥位の手術として報告されていた. AIMS から JSAPIMS へ情報を送信している施設の多くは,送信された情報を詳しく確認しないまま確定していると思われる. そのため学会からこれらのデータを元に何らかの結果が出されたとしてもどこまで正確なものかは甚だ不明である.

本学会 (第 36 回日本麻酔・集中治療テクノロジー学会) 終了後に届いた学会のアンケート調査では,肺血栓塞栓症発症例の調査に加えて術前に見つかった深部静脈血栓症の周術期の経過についても加わっている.調査項目の追加は事前には会員に知らされておらず,それらに対応措置を講じていなかったため,当然当院は追加項目に関しては答えることが出来ない.また麻酔科の診療状況から術後の患者の状況を細かく把握することは困難であるため,周術期の予後に与える影響についての調査を麻酔科のみで行うのは困難であると思われる.調査が困難なアンケートを義務化すると

不正確なデータが多く収集されてしまう可能性があり、そこから何かを導き出したとしても信用に値するデータとは限らない可能性がある.外科系の予後をしっかり見ているであろうデータベース(NCD など)との連携を図るかもしくは予後に関する調査は諦める勇気を持つことも大切なのではないかと考える.

引用文献

- 1. 麻酔予備校 ,Facebook(閲覧日: 2018 年 12 月 26 日) https://www.facebook.com/groups/anesthprepschool/
- 2. 公益社団法人日本麻酔学会, Web site (閲覧日: 2019 年1月7日)
 - https://nsas.anesth.or.jp/App/Datura/investigation-1.html
- 3. 公益社団法人日本麻酔学会, Web site(閲覧日: 2019 年1月7日)
 - https://nsas.anesth.or.jp/App/Datura/investigation-3.html
- 4. 公益社団法人日本麻酔学会 ,Web site(閲覧日: 2019 年 1 月 7 日)
 - $\label{eq:https://nsas.anesth.or.jp/App/Datura/investigation-6.html} https://nsas.anesth.or.jp/App/Datura/investigation-6.html$
- 5. National Clinical Database, Web site(閲覧日: 2019年1月7日)
 - http://www.ncd.or.jp/about/feedback.html
- 6. Pub med 検索, (検索日: 2019年1月7日) https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term= % 22national+clinical+database % 22+japan

シンポジウム 1 「JSA-PIMS とどう付き合うか?」 – JSA-PIMS ユーザー (医員) の立場から– 山本俊介

はじめに

現在, JSA-PIMS では, 術前の患者合併症から 始まり,手術の内容および術中の使用薬剤,輸液 量,周術期の合併症,偶発症について入力すること ができる麻酔に関する最大のデータベースとなっ ている.データベースへの入力は自動麻酔記録シ ステムからの自動転記や自動麻酔記録システム未 導入の施設では完全に一から入力することが求め られる施設もある、さらに入力内容も麻酔記録の 内容と重複する部分があり,自動転記ではない施 設のユーザーにとっては入力自体も煩雑である. そして個々の合併症情報と学会提出用の合併症の 内容には隔たりがあり、必ずしも重症度を反映し ているわけではない、また、大学病院などの1日 あたりの症例が多い施設ではいわゆる偶発症例に あたる肺塞栓症などの術後に生じる重篤な合併症 についてまで追えていないのが現状である. 更に 当院において JSA-PIMS に入力した内容を活用す る場面は麻酔科専門医の新規および更新申請時に 各麻酔科医が麻酔実績を報告する際に検索するだ けで,台帳としての機能を十分に活用できていな い.そこで日々の JSA-PIMS の入力および活用 についてユーザーの立場としての現状を報告し、 今後の JSA-PIMS の改善に繋げていきたい.

入力内容について

当院では麻酔記録システム (日本光電 PRIME GAIA) 内であらかじめ合併症情報を入力し,術中使用薬剤や輸液量,麻酔・手術時間などの項目は手術終了後に手動で転送すると JSA-PIMS に自動転記できるようにしている (図 1).麻酔記録システムで手術情報 (図 2),病院情報システム (HIS)



図 1 麻酔記録システムでの JSA-PIMS 項目入力画面

手術情報,輸液輸血情報,薬剤情報,偶発症例がJSA-PIMS へ出力することで自動転記される.



図 2 手術情報

病院情報システムからの手術申し込み情報から自動転記された内容とともに術前合併症や麻酔法,手術部位などを入力する(赤線内).



図 3 HIS 連携項目

病院情報システムから手術申し込みの際の問題点の入力が自動転記されることになっているが,科によってはほとんど入力されていないこともある.ただし,JSA-PIMSへは反映されないため入力する必要があるかは疑問が残る.

連携情報 (図 3),輸液輸血情報 (図 4),薬剤情報 (図 5),偶発症例 (図 6)をそれぞれ入力する.麻酔終了後に麻酔記録システムで転送をすると JSA-



図 4 輸液輸血情報 集計ボタンをクリックすることで麻酔記録 から自動転記される.

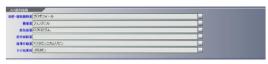


図 5 薬剤情報 麻酔記録の使用薬剤と連動して自動転記される.



図 6 偶発症例 ほとんど入力されることはない (術後に入 力されることはまずない)

PIMS 側で合併症情報 (術前特記事項, 術前内服薬, 術後偶発症例) を追加入力して「確定」することで JSA-PIMS が完成する.

術前特記事項と術前合併症

入力する合併症については JSA-PIMS 内の合併症分類と日本麻酔科学会が求める合併症の内容が異なり煩雑となっている. 例えば,同じ呼吸器系合併症について入力する場合,術前合併症の呼吸器系の項目を入力する. その後手術情報の項目で術前特記事項の呼吸器系の入力と術前合併症(学会)分類での呼吸器系の入力を行う必要がある(図7). 麻酔記録システムで入力する項目は主に JSA-PIMS における学会提出用の項目としている. 学会提出用の項目は各合併症のなかでも大まかな分類で分けられているため,個々の合併症や患者情報の内容については JSA-PIMS 上で改めて入力することとなり,内容によっては重複する.また,麻酔管理上の麻酔困難に当たる項目



図 7 呼吸器系合併症の入力 同じ呼吸器系の入力だが, 術前合併症での 呼吸器系合併症画面と手術情報での術前特記 事項, 術前合併症(学会)分類で内容が異なっ ている.



図 8-1 循環器系 (術前合併症)



図 8-2 循環器系 (手術情報)

中等度以上の大動脈弁逆流症や僧帽弁逆流症は術前合併症における循環器系の弁膜症, 手術情報での術前特記事項で後天性弁疾患, 術前合併症(学会)分類での弁疾患となり重症度は問われず疾患の有無でしか評価されない.実際の麻酔管理における重症加算項目が単なる合併症の一部としか扱われず違和感を覚えてしまう.

入力項目の詳細さは術前合併症 > 術前特記 事項 > 術前合併症 (学会) 分類の順となって いる.

も単なる合併症の一部であったり、学会提出用の項目でその他に分類されたりと実際の麻酔管理と JSA-PIMS 上の内容が合わない印象がある. 具体的には、中等度以上の大動脈弁逆流症や僧帽弁逆

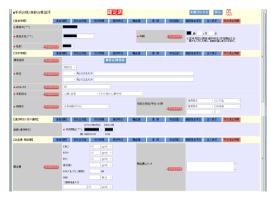


図 9 JSA-PIMS 学会提出情報 合併症については大まかな分類のみで重症 度を反映できるとすれば ASA PS 分類のみ である. 学会提出情報では患者情報,手術情報,手術時間,輸液量,出血量と偶発症のみ 登録されるが,詳細に入力していなくても登録可能.

流症は循環器系の「弁膜症」となり重症度は問わ れない(図 8-1,2). また HbA1c 8 %以上の糖尿病 は代謝内分泌系の「その他」に分類される.つま リ、JSA-PIMS における合併症内容の詳細さは術 前合併症 > 術前特記事項 > 術前合併症 (学会) 分 類の順となりそれぞれ入力が求められる、合併症 については大まかな分類のみで重症度を反映でき るとすれば ASA PS 分類のみである. 登録に関 しては,自動転記の弊害でもあるが,学会提出情 報では患者情報,手術情報,手術時間,輸液量, 出血量と偶発症のみ(図9)であり,個々の詳しい 内容を入力しなくても登録できてしまう点にも問 題がある.しかしながら,自動転記がない場合で の入力は非常に煩雑となる、術後の偶発症につい ては術後回診時に異常がなかった患者のその後の 偶発症のフォローは非常に困難で把握ができてい ないのが現状である.

活用法について

麻酔記録システムにも検索機能や統計機能が備わっているために JSA-PIMS の検索機能を使用することはほとんどない.麻酔科専門医や指導医の申請,更新時に臨床実績報告書として作成しているのみである.前期もしくは後期研修医が合併

症を正しく入力できていないなど自動転記による 弊害のため,検索しても結果に繋がらないという 悪循環がある.また,検索機能における CSV ファ イルの作成は管理者権限であり一般ユーザーは使 用できず,印刷機能も使い勝手が良いとは言えな い.つまりは,活用法が偶発症調査や臨床実績報 告書のみであるためユーザーからは JSA-PIMS 入 力に対して活用法や恩恵がないため入力内容に関 してもどこまで正確に入力されているかは疑問が 残る.さらにはその正確ではないかもしれない情 報を元に作成される偶発症調査の信憑性にも疑問 符がついてしまう.

JSA-PIMS の問題点

現在の JSA-PIMS においては大きく分けて入 力と検索に関して問題を抱えている. 入力におけ る問題点は,①内容が不十分であっても学会提 出情報さえ記入されていれば登録できる(自動転 記の場合は JSA-PIMS 画面で確定するだけでも 登録できる),② 重複して入力する必要があり煩 雑なこと(術前合併症,術前特記事項,術前合併 症 (学会) 分類の入力が必要), ③ 合併症は実際の 麻酔困難例とは乖離すること, ④ 術中や術後回 診時に問題のなかった症例での偶発症の把握が困 難なこと (回診時以降に生じた偶発症の把握は主 治医からの情報などがない場合はほぼ把握できな い), ⑤ 登録の有無の確認はできるが入力内容の チェック機能がないことである (年間 6000 件を超 える麻酔管理症例で入力内容の正確性の担保がで きない).検索における問題点は,①管理者以外 では検索機能は使わないか知らない (麻酔記録シ ステムでも症例検索ができるため一般ユーザーが JSA-PIMS から検索することはまずない),②担 当医などの軽微な名前の違い(姓名の間の空白の 有無など) で検索できなくなる,③ 挿管困難やア ナフィラキシーショックなど重要な項目の把握が 困難 (麻酔記録システムでも搭載されているわけ ではないが偶発症以外での Cormack 分類などが 検索できるわけではなく麻酔方法や手術部位など

表 1 JSA-PIMS の問題点

1. 学会提出情報だけ (内容が不十分でも) で登録できる 2. 重複して入力する必要性があり煩雑 3. 合併症は実際の麻酔困難例とは乖離す 入力 る 4. 術中や術後回診時に問題がなかった症 例では,偶発症の把握は困難 5. 入力した内容のチェック機構がない (登録の有無のみ) 1. 管理者以外で検索機能は使わない(知 らな(1) 2. 担当医など軽微な名前の違いで検索で 検索 きなくなる(氏名の間の空白の有無) 3. 挿管困難やアナフィラキシーショック など重要な項目の把握が困難

が検索できるのみ) なことである (表 1). これらの問題点が JSA-PIMS の活用がなされていない一因であると考えており、今後改善が期待される.

今後の JSA-PIMS に期待すること

入力方法の更なる簡略化:合併症情報などの重複項目を減らし,個々の合併症情報から学会提出情報の項目を自動で選択できるようにすること(図 10). 薬剤コードや体位など用語の統一化 (切石位から砕石位,載石位など). 麻酔記録システムからの自動転記項目の増加:術前外来や麻酔情報で入力した項目を学会提出情報の項目以外にも広げて JSA-PIMS への直接入力を減らす.DPC情報 (F コード) との連携:コストや入院情報と連携することでビッグデータとして解析できるようにする.

麻酔科個人の識別番号の導入:麻酔科医の名前(氏名の間の空白の有無)の軽微な変化だけでも検索できなくなる不具合を解消する.先に提示したように入力および検索に関する問題点が改善することで JSA-PIMS はより良くなることが期待さ



図 10 入力方法の簡略化

例えば術前合併症でコントロール良好な高血圧を選択した場合 , 手術情報における術前特記事項の循環器系の高血圧と術前合併症(学会)分類の循環器系のその他 が自動的に選択されるようなアルゴリズムが実装されると入力はかなり簡略化される.

れる.しかしながら入力内容の正確性を担保する ことが非常に重要となってくる.

まとめ

JSA-PIMS は 2019 年に大きく変化することが予想され,今後は JSA-PIMS からの入力による専門医の申請や心臓血管麻酔学会の症例登録などが必須となることから大きく発展する.このため,入力内容の簡略化と内容の充実による検索機能の強化や他のデータベースとの連携により JSA-PIMS がこれまで以上に活用しやすいものとなることを期待している.

ABSTRACT

A Reflection from a JSA-PIMS User in the University hospital

Shunsuke Yamamoto

Currently, the JSA-PIMS is the largest anesthesia database in Japan, into which data on various items, perioperative complications and accidental symptoms in patients, can be entered. Data can be entered into the database automatically through anesthesia information management systems, whereas at facilities without such systems, it may be required to manually enter data from scratch. Besides, at such facilities, entered details may overlap the details of other anesthetic records; therefore, data entry itself is complicated for users. Moreover, there is a

discrepancy between information on individual complications and the details of complications for conference submission, and the degrees of severity are not necessarily reflected. Further, at facilities such as university hospitals where the number of cases is large, it has not currently been possible to include serious postoperative complications that occur following surgery for diseases like pulmonary embolism, namely an accidental symptom. Moreover, at our hospital, settings in which details entered on the JSA-PIMS are used are limited to when an anesthesiologist submits a report on their anesthesiology practice at the time of application for

obtaining or renewing anesthesiology specialist licenses; hence, the database has not been fully utilized for its function as a ledger. Thus, I report on the current situation regarding data entry into and the use of the JSA-PIMS from a user 's perspective, with a view toward its improvement.

Department of Anesthesiology and Intensive Care Medicine, Osaka University Graduate School of Medicine 2-2, Yamada-oka, Suita, Osaka, Japan, 565-0871

Key words:

JSA-PIMS, AIMS, HIS, perioperative complications

JSA PIMS とどう付き合うか? - メーカーの立場から 小倉 正樹

はじめに

JSA PIMS は,2019 バージョンから偶発症調査のためのシステムという役割だけでなく,専門医制度申請の役割も持つこととなった.この変更は麻酔科医にとってだけでなく,メーカー側にも非常に大きな意味を持つ.どういった点で注意が必要なのかを中心に報告する.

本文では,以下の略称を用いる.

AIMS: Anesthesia information management systems (麻酔記録システム)

HIS: Hospital Information System (病院情報システム/電子カルテシステム)

JSA PIMS: Japanese Society of Anesthesiologists Perioperative Information Management System (日本麻酔科学会 麻酔台帳)

ORSYS: (フィリップス・ジャパン社製 AIMS の製品名)

JSA PIMS との連携で AIMS に 求められるのは何か

JSA PIMS 2019 は単独で動作するソフトウェアである. AIMS との接続が必須ではない. このような状況において, AIMS と JSA PIMS を導入する際に AIMS に求められるのは何か?

- ① AIMS だけですべての入力が完了して欲しい. (JSA PIMS は学会にデータ送信する際に利用するゲートウェイ)
- ②今まで, JSA PIMS にすべて手入力していた ので,少しでも楽になるように AIMS から基本情 報などは送信して欲しい.
- ③ JSA PIMS は WEB で動作するソフトウェアなので, AIMSの画面からいつでも JSA PIMSの画面を呼び出して, 術中に入力できるようにして欲しい.

大きく分けるとこれら3つになる.

この中の① に対しての麻酔科医からの要望が一番強く,今までも AIMS メーカーはこれを実現するべく,AIMS に機能を持つ努力をしてきた.しかし,この AIMS に機能を追加するという行為を今後も続けるべきなのかの判断が必要な時期に来ているのかもしれない.この点を技術的な視点から述べる.

問題点は何か?(技術的な視点)

AIMS メーカーからすると, JSA PIMS は単なるデータベースではなく,一つの「部門システム」である.「部門システム」と考えるとき,病院のシステムで考えるとイメージが付きやすい.

AIMS は様々なシステムと連携を行う (図 1).

では, JSA PIMS はどこに存在するか? AIMS の中に存在するようなイメージになりがちだが, 実際には以下のような状況だと考えるべき(図2).

JSA PIMS は , その施設の AIMS とは異なる メーカーが作成する部門システムあり , XML に よる連携仕様書が定義されている . その仕様は , カメラシステムや SPD システムの連携よりも複 雑である .

つまり、JSA PIMS とは、AIMS から出力されたデータを取り込んで学会に提出する「ゲートウェイ」(データ提出用システム)ではなく、AIMS から出力されたデータを取り込んで、JSA PIMS で情報を追記した上で、学会に提出する「データ入力システム」(=マスターメンテナンスも個別に行う必要のある小規模部門システム)と理解するのが正しい。

では,部門システムとして考えるとき,導入の際に何を決定する必要があるかというと,

- 備?故障したとき,復旧作業は誰が?)
- ・ネットワーク構成 (AIMS と JSA PIMS は同一 ネットワーク上に存在?USB でのデータ渡し?)
- ・アプリケーション仕様 (データのバックアップ は誰がどうやって行う?)
- ・アフターサポート (医籍コードなどのマスター メンテナンスのフローは?)

上記の構成は施設ごとに異なり, 結果的に運用 フローはすべて施設によって異なる.JSA PIMS のリリース計画を期待したい. がパッケージ製品だから, AIMS 側の改修も統一 化できるか?というと決してそのような事はない. ここが AIMS メーカーにとっての悩みの一つにな る (図3参照).

「JSA PIMSと連携する」とは?

JSA PIMS と連携するために図 4 に示すマス ターや画面が AIMS(図 4 では ORSYS) 側に必要 となる。

もある、HIS る.JSA PIMS 2019 との連携に対応するという ことを期待する.

・ハードウェア構成 (JSA PIMS の端末は誰が準 ことは、それらの画面やマスターも意識する必要 があるということを意味する.

つまり、JSA PIMS の変化に追従していくとい うことは,これらの機能,画面,マスターの改修 を行うということになる(図5参照). 各社の麻酔 記録システムが全国に合計 500 施設以上導入され ている現在、その影響度は決して小さくはない、 要件定義から実際の現地システム改修までを数ヶ などが大きく分けたときの項目になる.そして, 月でこれだけの施設で一気に対応させることは難 しい、学会には、余裕を持ったバージョンアップ

最後に

JSA PIMS が世界に誇れるデータベースとな り, 先生方の学会発表や実際の臨床面で意義のあ るデータ抽出に役立つシステムになって欲しい. その為には、AIMS の持つべきイベントやリマー クスなどの項目の標準化を推進し,麻酔科学会と して麻酔記録自体の標準化に関与すべき時代に しかし、AIMS は HIS と接続するシステムで(来ている、システムとシステムをつなぐだけでな AIMS JSA PIMS というデー く ,麻酔科学会と麻酔科医 ,学会や麻酔科医とメー タ流れの過程でそれぞれに関係する画面が存在す カーを「つなぐ」ということがもっと促進される

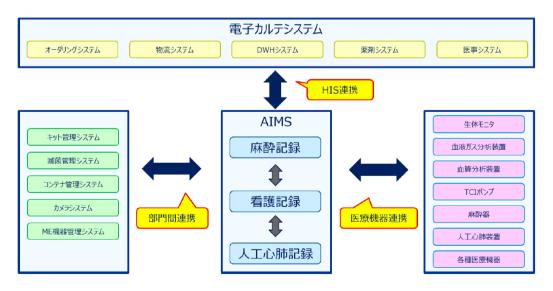


図 1 . AIMS と病院システムとの関係

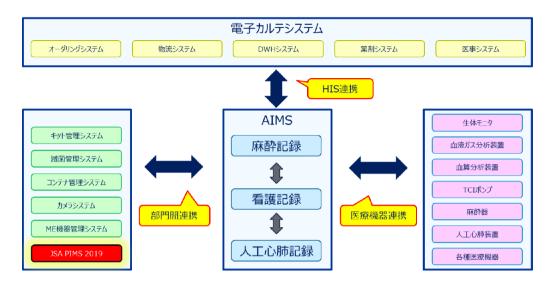


図2. JSA PIMS は新たな部門管理システムに位置する.

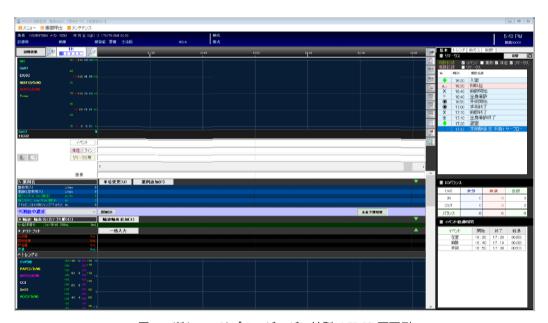


図 3. (株) フィリプス・ジャパン社製 AIMS 画面例

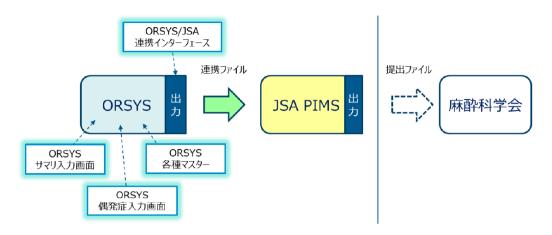


図4. JSA PIMS へのインターフェースになる ORSYS の概要

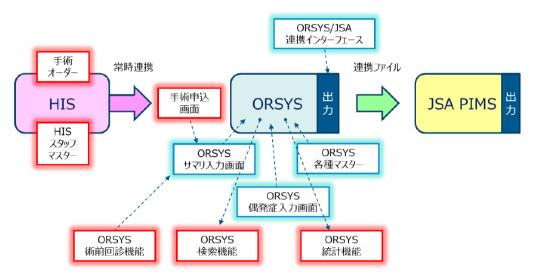


図 5. ORSYS の作業工程詳細

シンポジウム

- 「展示会で探す,これからの麻酔で使えそうなテクノロジー」-司会の言葉 讃岐美智義

医療系の学会(以下,学会)には,機器展示が併設されているのが通例です.学会では,演題や講演から新たな知識をえることが主であり,学会展示からは発売機器の情報をえるのは従となります.一方,IT系の展示会(以下,展示会)には講演会が併設されています.展示会では学会とは逆で,講演会よりも企業展示ブースでのセミナーやデモ,展示機器から情報をえることが主となります.展示会では,展示ブース数が500~800程度,ブース面積も屋台規模から数十倍以上のものまで存在し,学会の機器展示とはまったく様相が異なります.また,得られる情報も学会以上に玉成混交であるため,その場で何を拾い,何を捨てるかのdecision making が求められます.

今回は,第4回ウェアラブルEXPO(2018年1 と思います. 月17日~19日)[本業界世界最大!ウェアラブ

ル専門展],第3回AI・人工知能EXPO(2018年4月17日~19日)[日本最大! 人工知能の専門展],CEATEC JAPAN 2018(2018年10月16日~19日)[つながる社会,共創する未来]に,展示会のエキスパートである3名の演者に自ら参加し情報を収集していただきました.本シンポジウムでは,展示会の雰囲気とそこから得られた次世代に使える麻酔・集中治療領域のテクノロジー情報をご報告いただき,その応用についても徹底討論したいと考えています.テクノロジー学会的なIT系展示会の活用方向が示されると確信します.

各演者の興味やオタク度,臨床や研究に応用できるシーズの見つけ方やプレゼンテーションの流儀のちがいなどが,本シンポジウムの見所であると思います

ウェアラブル EXPO で見つけたテクノロジー 森田 知孝

はじめに

スマートフォンやタブレット端末が広く認知さ れてきた近年,ウェアラブルデバイスが注目を集 めている、ウェアラブルデバイスの特徴は、端末 そのものを身につけて使用することである.その ため,移動中や運動中など手がふさがっている場 面でも使用可能であり,終日身につけてのデータ 収集も容易に行える. バッテリー駆動時間や接触 部の低温熱傷などの問題もあるが, それは技術の 進歩によって年々解消されており,今後の更なる 発展が期待されている.

健康管理の面ではウェアラブルデバイスはス マートフォンよりも正確に,長時間のデータ収集 を行うことが可能で,生活習慣を可視化して使用 者自身に管理する意識を持たせると共に,医療目 的での応用も期待される.特に腕時計型のデバイ スであるスマートウォッチの進化はめざましく、 心拍数やカロリー消費量だけでなく心電図の測定 も可能になった.また,スマートフォンとのペア リングによって長期間のデータ管理が容易になり、 緊急時の連絡も可能にしてくれる.

本学会では過去にウェアラブルデバイスを用い た報告がいくつか発表されており, ウェアラブル デバイスの発展を願う声は高まっている^{1,2)}.本 稿ではこれまで私が参加したウェアラブル EXPO で得た情報を元に,今後麻酔・集中治療領域で使 用できる新しいウェアラブルデバイスの可能性, あるいは既製のデバイスが活躍する場面について 論述する.

ウェアラブルデバイスの歴史

トップやスマートフォンなど単に持ち運べるコン 康管理用として使用されたりしている.また,保

ピュータとは異なり,主に衣服状や腕時計状で身 につけたまま使えるものを指し, ユビキタスコン ピューティングにおいてエンドユーザーが直接接 する端末として大きな意味を持つ.その3つの利 用方法として,1)利用者に対するリアルタイムの 情報提供,2)利用者の状態の記録,3)外部のコ ンピュータとの連携があげられる.

ウェアラブルという発想そのものは30年以上 も議論されてきたものであり,決して目新しい ものではない.現トロント大学教授である Steve Mann³⁾ が 1980 年に情報機器を身につけたのが ウェアラブルコンピュータの始まりと言われてい る、Mann は洋服の中にコンピュータを埋め込ん で着用するデバイス,ゴーグルのように付けるデ バイス, 腕時計にメモ機能をつけただけのデバイ スなどを開発したが,いずれも「使い勝手が悪い」 「単価が高い」「格好悪い」などの理由から一般普 及に至らなかった.

しかし,2006 年にナイキとアップルが Nike+iPod Sport Kit を発表し 4), これがウェア ラブルデバイスの再燃のきっかけとなった.その 後 Google Glass などのスマートグラスや Apple Watch などのスマートウォッチ, GoPro などの ウェアラブルカメラが開発され,世間一般にも ウェアラブルデバイスが認知され,より身近に感 じられる存在となった.

最近のウェアラブルデバイスの傾向

Mann が開発した当初から腕時計型は多く,現 在でもスマートウォッチという言葉が生まれるほ ど主流である.特にヘルスケアに関するデバイス が多く開発され,企業の保険組合が従業員の健康 そもそもウェアラブルデバイスとは、ラップ 管理用に配布したり、建設現場などの作業員の健 険会社と連携して加入者へインセンティブを提供 するためにバイタルデータを収集するケースも出 てきている。

また,スマートグラス越しに煩雑な作業について的確な指示を出したり,近年増えてきている衣類型のデバイスを使用して健康管理を行ったりすることもある.

いずれの場合も,投資コストの回収,長時間労働の解消,省人化への貢献につながっており,今後5Gによる通信が普及することでこの動きはさらに加速すると期待されている.

また,個人での使用においても腕時計型の用途は増えている.例えば,Apple Watch は第1世代ではiPhone とリンクさせて通話したり,電子メール,SNS を閲覧したりすることを主目的としていたが,その後電子マネーの支払いや心電図の測定が可能になるなど,その機能はますます充実している.筆者自身も第1世代から使用しており,現在は第4世代を装着しているが,就眠時以外は肌身離さず愛用している.

ウェアラブル EXPO について

こうした進歩がある中,2015年に第1回ウェ アラブル EXPO が東京ビッグサイトで開催され, 以降毎年1月に開かれるようになった.ウェア ラブル EXPO はリード社が主催する数ある展示 会の一つであり,第1回の来場者数は18,794人 で,以降も20,000人前後が毎年来場している(写 真 1). 出展社数は第1回では100社前後だった が徐々に増えており,2019年1月に開催された 第 5 回ウェアラブル EXPO では 163 社が出展し た、本 EXPO は商談目的の展示会であり、各出 展社のブースでのアンケートでは機器や技術の導 入についての質問が細かく設けられている.一方 で消費者に向けた展示も回を重ねる度に増加して おり、消費者自らウェアラブルデバイスを体験で きるブースが賑わっている.また,開催中は毎日 5 つ以上の基調講演やセミナーが開かれており, 予約なしでは入場できないものがあるほど人気が



写真 1 第 4 回ウェアラブル EXPO にて , 入場開始直前の入り口の様子



写真 2 導電性繊維を含む衣類を 発表する企業ブースの一例

高い.

ウェアラブル EXPO では既製品のデバイスから,将来性のある開発中のデバイスまで様々なものが出展されている.また回を重ねるごとに展示物の傾向が変わってきており,特に衣類型はこの4年間で出展数が大きく伸びている.第1回では導電性繊維のみの出展だった企業ブースが衣服を出展し,多岐にわたる使用の可能性を見せている.どのブースも開発者や消費者で賑わっており,注目度が高い(写真2).

麻酔・集中治療領域における ウェアラブルデバイスの可能性

ウェアラブル EXPO では様々な分野でのウェ アラブルデバイスの使用の可能性が示されており, 医療についてもその例外ではない.例えば,腹腔鏡で映し出される術野の映像をヘッドマウント型やアイウェア型のディスプレイに出力したり(写真3),スーツ型のデバイスで外科医の姿勢を支えたり,手術室での使用を視野に入れた出展も見かけられる.また,手術で必要な医療材料や医療器材,薬剤の取り揃えを支援するためのデバイスは既に臨床使用されている.

こうした新しいデバイスが開発されている中, 現在既に市販されているデバイスを手術室や集中 治療室で使用することも筆者は期待する. 例えば, スマートウォッチに各手術室のバイタルデータを 受信して閲覧したり、院内の内線 PHS と連携し て通話したり,スタッフの健康状態を確認するこ とは手術室業務の円滑化を図る上で重要な要素と なり得る,麻酔科責任者は各手術の進行状況やス タッフの勤務状況を把握し,その都度予定された 進行案を変更する必要がある.緊急手術の依頼が あればなおさら変更を迫られる、そのような時に スマートウォッチがあれば,他の手術室や控室に いても情報をすぐに受け取り、より迅速に動ける ようになると推測される. 導電性繊維を含む衣類 は,電気メスなどの機器との干渉のために手術室 では患者に装着させにくいことが予測されるが、 その機会がより少ない集中治療室では全身状態の 把握,体温保持のために使用できると思われる. また先の報告 1,2) であったような使用用途は様々 な場面で応用可能で,研修医やコメディカルへの 指導のツールとしても役立つと推考する.

終わりに

ウェアラブルデバイスは今後も多岐に渡って発展するものと思われる.その数は計り知れないほどであり,成功する見込みを立てて製作していては好機を逸してしまい,製作した上で儲かるか否



写真3 小型ディスプレイを搭載した拡大鏡

かを考える企業も増えてきている.医療の現場では製作コストを考慮してどんどん新しいデバイスが開発されることは少し考えにくいが,上記のように他の使用用途で開発されたデバイスを医療用として応用することは可能であり,そうすることで新たなアイディアが生まれ,これまで考案されたことのなかったデバイスの開発のきっかけになりうる.今後は AI と関連づけたデバイスも開発され,麻酔・集中治療に全く新しい風が吹くことを大きく期待する.

参考文献

- 1. 稲野千明,糟谷祐輔,森脇翔太,尾崎 眞.装着型 ディスプレイを用いた超音波ガイド下中心静脈穿刺 の可能性.麻酔・集中治療とテクノロジー 2016: 70-71,2016.
- 2. 森田知孝, 内田整, 萩平哲, 藤野裕士. 麻酔におけるウェアラブルカメラの活用法. 麻酔・集中治療とテクノロジー 2015:83, 2016.
- 3. Mann S. "Prof. Steve Mann The Computer Engineering Research Group" http://www.eecg.toronto.edu/ mann/
- 4. Shoul S, Kerris N. "Nike and Apple Team Up to Launch Nike+iPod" https://www.apple.com/newsroom/2006/05/23Nike-and-Apple-Team-Up-to-Launch-Nike-iPod/

AI・人工知能 EXPO で見つけたテクノロジー 増井 健一

本稿は,2018年12月1日に開催された第36回 日本麻酔・集中治療テクノロジー学会で開催され たシンポジウム「展示会で探す,これからの麻酔 で使えそうなテクノロジー」の一演題のプロシー ディングである.このため,本稿の内容は基本的 に 2018 年 12 月現在の情報に基づいていることを はじめにお断りする.

私に割り当てられた展示会はタイトルにある通 り「AI・人工知能 EXPO」である (AI: artificial intelligence). 2018年4月6日(水)~8日(金)の 平日3日間に開催されたこのEXPOは,まだ第2 回ではあるが,参加者は46000人超であった.基 本的に商談のための展示会で,招待券を手に入れ られれば参加費は無料であった, EXPO の構成 は商談につなげるための展示と, AI の第一人者 の講演であった.講演は,無料のものと有料のも のがあり、有料のものも満席の講演が多かった... 講演を三つ聴講し,展示会場はすべてを見て回っ た.これらについては後半で紹介するが,2018年 4月の段階では,企業は AI をどのように使うか 模索している,といった印象を筆者は受けた.

先に,これまでの AI ブームと, AI という用語 の定義について少し紹介しておく.次段落と次々 段落の文章は、学会抄録集と同一の内容である、

最近はあちらこちらで AI という言葉を耳にす るようになり, 医療分野でも画像診断の分野では 実臨床で AI が使われるようになった . 2000 年代 から始まった今回の AI ブームは第3次であり,第 1次は1950年代後半1960年代,第2次は1980 年代であった.第1次ブームのコンピュータは, 単純な問題に素早く答えるというレベルの性能で あった. つまり, ルールの決まっているパズルを 解く程度(推論と探索)の性能であり,機械学習 はおろか複雑な問題を解くことはできなかった.グでは特徴量をもコンピュータが学習する.

このため第1次ブームは過ぎ去ってしまった、第 2次ブームのコンピュータは,ある程度複雑な問 題を解くことができるようになった.しかし,問 題を解くためには,必要なすべての知識と思考回 路をコンピュータにあらかじめ教える必要があっ た. そのため, 例外処理が不得意であり, AI を構 築するためには膨大な作業が必要であった、この 頃,ディープラーニングを含む機械学習の考え方 は構築されつつあったが、CPUの演算速度、大容 量データの転送速度・記憶容量・入手しやすさ,な どの制限から機械学習は難しく第2次ブームも過 ぎ去ってしまった. GPU を演算に使用するよう になったことを含めコンピュータ環境の発展から 機械学習が現実的となり、現在の第3次 AI ブー ムとなった. AI が様々な分野で活用されるよう になった現状を考えると,ブームという言葉はふ さわしくないように感じる. これからは AI とど のように共存するかという視点が必要になってい くと演者は考える.

AI という用語に明確な定義はなく,専門家の 定義にもさまざまなものがある. 例えば,「人工 的につくられた,知能を持つ実体,あるいはそれ をつくろうとすることによって知能自体を研究す る分野」「究極には人間と区別がつかない人工的 な知能のこと」「人の知的な振る舞いを模倣・支 援・超越するための校正的システム」(人工知能 は人間を超えるか,松尾豊著より引用)である. AI と呼ばれるものの中には単純な制御プログラ ム (機械学習が伴わないもの) も含まれるが,本来 的に AI は機械学習 (特徴量を用いてコンピュー タが学習すること) し,プログラマが与えていな いルールを作成し,それを用いて何らかの動作を 行う.機械学習のひとつであるディープラーニン

AI EXPO で聴講した講演では、AI を生かすため の開発者としての視点がいくつか紹介されていた. 麻酔で AI を生かして何ができるかを考えるとき の役に立つと考えられる.ヤフー(株)CSO(Chief Strategy Officer) の安宅和人氏の講演で印象に残 った言葉がいくつもある:「領域を超えてつなぎ デザインする力がこれまで以上に必要」「どのよ うな世界を生み出し残したいのか」「(2018年春の 時点で) 入力用 AI, 例えば音声 API(Application Programming Interface),自然言語処理 API,画 像処理 API などはほぼほぼ開発終了で,今は出 力する AI, タオ問えばヘルスケア API, 小売り AIP) などを開発している」「AI はデータと表裏ー 体:データの価値は目的・鮮度・メッシュの細か さ」「Input と Output を繋ぐのが知性」「AI は自 動化ツール」. ドワンゴ 取締役 CTO(Chief Technical Officer) の川上量生氏は、「研究業界では AI が過熱しているが,産業界での応用事例は少ない」 「Google は国際会議で論文を発表.ジャーナルの 掲載は時間がかかりすぎて, AI の発展スピード に追いつかない」と、(株) Preferred Networks 最 高戦略責任者の丸山宏氏は、「深層学習はひらめ かない・臨機応変な対応をしない」「深層学習は 新たな価値観を作り出さない」「システムの開発 は,モデルベース開発とモデルフリー開発を組み 合わせて作らないといけないと考えている」と話 していた. AI は人工知能と訳されるが, 安宅氏

は「AI は自動化ツール」と表現し,丸山氏は「深層学習は新たな価値観を作り出さない」と説明した. AI が人間のように考えるという誤解を解くのに役立つ話であった.

さて,シンポジウムでは,「展示会で探す,こ れからの麻酔で使えそうなテクノロジー」を紹介 することが目的であった.インパクトのある,斬 新なものは,正直なところ 2018 年の AI EXPO では見つけられなかった、「AI は自動化ツール」 という視点からは,音声入力をテキストデータに する AI が使えないかと考えた. しかし, 手術室 で音声入力は難しいという話を聞いた、術前外来 では利用できるかもしれないが,現状の音声 AI は,2018年の段階では音声データを病院の外に 一旦送る方が早く, 音声 AI がオフラインで十分 に使える状態になるのを待つ必要がある. チャッ トボットやロボットの展示も多かった.これらを AI というのは多少憚られるが, チャットボットや ロボットによる術前診察ができれば,マンパワー の足りない麻酔科にはありがたい. ルーチンワー クである術前診察を AI により自動化することは, 喫緊の課題になると感じた.

厚生労働省は医療に AI を持ち込めるよう ,様々な施策をはじめている . テクノロジー学会の有志が ,深層学習を麻酔科医療の発展に持ち込んで実用化することを期待して本稿を終える .

CEATEC で見つけたテクノロジー 片山勝之

2018年10月16日から19日の4日間,千葉幕 張メッセにてCEATEC (Combined Exhibition of Advanced Technologies) JAPAN 2018が開催さ れ,学会長よりご指名を受けて取材して来ました ので,概要を報告させて頂きます.

(スライド1~4)

今年の CEATEC の開催趣旨は「CPS/IoT を活用し,あらゆる産業・業種による「共創」を基本としたビジネス創出と,技術および情報交流などを一堂に会する場を開催し,経済発展と社会的課題の解決を両立する「超スマート社会(Society 5.0)」の実現を目指す」というものです.

Society 5.0 とは内閣府の科学技術政策用語で ,「サイバー空間 (仮想空間) とフィジカル空間 (現実空間) を高度に融合させたシステムにより ,経済発展と社会的課題の解決を両立する ,人間中心の社会 (Society)」のことで ,情報化社会を Society 4.0 と位置づけ ,その次に来る未来社会のイメージを指しています .

主催は,電子情報技術産業協会(JEITA),情報通信ネットワーク産業協会(CIAJ),コンピュータソフトウェア協会(CSAJ),後援は総務省,外務省,厚生労働省,経済産業省,国土交通省となっており,まさに国を挙げて日本のIT 関連業界を支援するための展示会で,国内外のメーカーが多数参加し,沢山の講演会,カンファランスが開催されました.展示されていたものは,まさにありとあらゆる分野のIT 関連新製品で,全てを紹介することは困難ですが,今回の目玉の一つが Healthcare Innovation でした.

今回の CEATEC で注目を集め,総務大臣賞を 受賞したテクノロジーは,金属上でも特性が低下 しない小型・薄型の新型アンテナ「Amcenna(アム セナ) TM」で,従来困難だった機械設備,自動車 ボディ等の金属部分やウェアラブル機器に500円

玉大の小型アンテナ設置が可能となるものです. IOT は全てのものをインターネットに繋げるという概念ですが,今後このような小型アンテナを利用して,様々な物がインターネットに繋がってくると思われます.

経済産業大臣賞を受賞したのは、4D Gravity TM 搭載 360 ° VR 撮影用 ドローン「Next VR TM 」でした。4D Gravity TM とは、飛行部と搭載部を物理的に切り離すことで、機体バランスを安定化させると同時に搭載物の水平・垂直を保つ技術で、360 ° VR 撮影だけでなく、荷物の運搬にも広く使われていくことになるようです。(スライド 6)

準グランプリに選ばれた家庭用全自動お片付けロボット (株式会社 Preferred Network) は,散らかった様々な物品を種類に応じて分類し,適切な場所に片付けを行ってくれるロボットで,家庭で役立つだけで無く,手術後に騒然と散らかった手術室の片付けにも役立ちそうです.(スライド7)

NEC は 2020 東京オリンピックに導入した大規模な顔認証システムを紹介していました.これはボランティアの中にテロリストが入り込むのを防ぐセキュリティーデバイスとして使われることになるようです.(スライド8)

病院の電子カルテの認証システムでは未だパス ワード認証が主流ですが,近い将来,顔認証や指 紋認証が取り入れられてくると思われます.

富士通は様々な帳票から必要な情報を取り出す OCR テクノロジー「DynaEye」を参考展示して いました.これは,お薬手帳から処方内容を電子 カルテに読み取るために直ぐにでも導入したいテ クノロジーです.(スライド9)

三菱電機が展示した「青空を模擬するライティング技術」は奥行き感のある青空と自然光を薄型パネルにより再現する装置で,窓の無い手術室に青空を取り込んで職員のストレスを解消する疑似

窓として導入されることが期待されます.(スライド10)

今回の CEATEC のテーマ, Society 5.0 を実現するためのテクノロジーとしてヒューマンセンシング技術に各社が取り組んでいました.

パナソニックは ,人間の五感をセンサーが替わって捉え , AI が情報処理し , 自動車やロボットなどにデータを送って利用し , Society 5.0 を実現するというイメージをロゴとして展示していました . (スライド 12)

その一例としてカメラ画像と熱画像センサーから,表情筋の動き,瞬き回数,心拍数,視線などを一度に多数の人から読み取って,その感情,眠気,集中度などを判定する装置のデモを行っていました.(スライド 13)

同様のシステムを三菱電機や株式会社シーエーシーが展示しており,多くの聴衆の感情を一瞬で読み取る技術は既に導入段階に入っていると思われました.大学での授業や,学会での講演の評価がアンケートではなく,このようなテクノロジーで行われる時代がもうすぐやってくるでしょう.(スライド 14~15)

また,東朋テクノロジー株式会社と京セラは匂いセンサーを展示していましたが,介護の現場で即,役立つテクノロジーだと考えられます.術後の排ガスの判定にも役立ちそうです.(スライド16)

私なりにまとめると、ヒューマンセンシングのトレンドは、非侵襲センサーを使って五感を模しながら、それを超える情報収集を行い、瞬時に多人数の情緒、集中力、眠気、自律神経活動を判断し、顧客や聴衆の反応評価や安全管理、労働者の労務管理、セルフケアや見守りなどに役立てるというものでした。

東北大学系列ベンチャー企業の NSD は, NIRS のテクノロジーを用いた物体認識 AI を開発し,顧客の商品評価などに利用するシステムを紹介していました.私たち麻酔科医にとってなじみ深いNIRS にこんな使い方があるのかと驚かされまし

た.(スライド 18~19)

CEATECでは展示会だけで無く,数多くの講演会が開催されましたが,「ヘルスケアデータがもたらす未来」という講演を聴講してきました.

一席目は,内閣官房健康・医療戦略室の官田中謙一参事による「健康・医療戦略」の一環としての「次世代医療基盤法」についてという講演でした.(スライド 21)

2018 年 5 月 11 日に施行された「次世代医療基盤法」とは「医療分野の研究開発に資するための 匿名加工医療情報に関する法律」です.

デジタルデータを活用した次世代の医療分野の研究,医療システム,医療行政を実現するための基盤として,デジタル化した医療現場からアウトカムを含む多様なデータを大規模に収集・利活用する仕組みを設けることを目的に制定されました.今後,医療機関は医療情報を収集しやすくなり,医療機関が持つ医療情報を収集し,匿名化する「認定匿名加工情報作成事業者」(認定事業者)が認定されます.高い情報セキュリティーを確保し,十分な匿名加工技術を持つ一定の基準を満たした事業者が認定されます.医療情報の利活用に,次世代医療基盤法は「アクセル」に相当します.

デジタルデータ収集と利活用基盤 (AI) により次世代医療 ICT 基盤ができると, 医療の向上(診療・経営分析,EB 診断・治療支援), データに基づく医療行政展開(俯瞰的データに基づく医療行政・都道府県医療計画策定), 主体的情報活用により患者・国民の行動変容が促進され,PHR の普及による医療の見える化が進み,診療情報と連携したヘルスケアサービスによる疾病予防が計られる, 医薬品企業の行動変容や研究開発環境の提供,治験開発の効率化,安全対策の効率化が計られる, 医療機器開発ニーズの把握,治験開発の効率化, 患者希望に基づく診療情報を利用した新たなヘルスケアサービス提供などが期待されるとのことでした.

二席目は,経済産業省のヘルスケア産業課,西

川和見課長による「健康・医療情報の活用に向けた民間投資促進について」という講演でした.(スライド 22)

米国では,ヘルスケア IT 関連ベンチャーへの 民間投資額が 400 億ドルと日本の 100 倍規模に達 し,生活習慣病を予防・治療管理する IT ビジネ スなどが展開され,個人や医療機関にサービスが 提供され始めています.欧州や中国でも 50 億ド ルを超える投資が行われており,3500 万ドルの 日本を大きく上回っています.今後,内因性疾患 の予防や進行予防を中心とした健康・医療システ ムの確立に民間投資が誘導されるそうです.

日本を超高齢化社会のモデルとして捉え, 2018 年 10 月 9 日,1st Well Aging Society SummitAsia-Japan が開催されました。国内外からヘルスケア分野の投資を活性化し,創薬・機器・サービス開発,R&D拠点としてのポジションを確立し,健康寿命の延伸を目指しています。超高齢化をチャンスとして生かそうという姿勢は新しい価値を生み出しそうです。

三席目は,日本光電工業株式会社 JEITA 医療用 ソフトウェア専門委員会の酒井由夫氏による「ヘ ルスソフトウエアの製品安全規格」という講演で した.(スライド 23)

ヘルスソフトウエアとは、「個人の健康を管理、 後の機会に皆さんもご参加頂ければ幸いです.

維持若しくは改善するために,又は医療(ケア)を 提供するために使用することを意図するソフトウ エアのことで,国際規格で初めて定義された用語 です、その適用範囲は法規制される医療機器に組 み込まれるソフトウエア,汎用コンピュータ上で 動作するソフトウエア単独製品だけでなく,法規 制外のその他の健康用ソフトウエア全体を指して います、米国では膨大な医療費を IT 導入によっ て削減したいという背景があり、Apple Watch Series 4 に搭載された心電図アプリ,心拍数異常を 検知して通知する機能などは,この国際規格を根 拠に米国 FDA が認証しました. 便利な機能が広 く使われるメリットが大きい一方で, ソフトウエ アのバグの問題,ネットワークを介して個人の健 康データがリークするリスクの問題などがあり、 リスクコントロール手段を講じておく必要があり ます . (スライド 24)

以上, CEATEC JAPAN 2018 の概要を報告させて頂きました.

このような展示会から得た知見が,自分たちの関心領域にどのように応用できるのかを想像しながら見学するというのは実に楽しい体験でした. CEATEC の参加費は無料ですので,是非来年以





スライド 22 スライド 23 スライド 24

バルカン半島への病院運営と医療技術の支援 菅井直介,太田権守*

ブルガリア共和国はバルカン半島に位置し旧ソ 連邦時代にはその一角でした. ソヴィエト連邦の 崩壊とともに共和国として再発足しましたが,半 島には第二次世界大戦後も近代的な病院は一つも 作られず、ソ連圏を脱してからも医療は遅れてい たのです. 早稲田大学で学んだ駐日ブルガリア大 使が, 徳洲会の活躍を知り元理事長の徳田虎雄先 生にブルガリアにおける病院建設を長年働きかけ てきました,日本国内でも貧しく医療の必要な地 域にその地が必要とする病院を建設してきた徳田 先生はブルガリアでの病院建設を決意し,地鎮祭 後5年半で,2006年11月28日,1016床(最初 は500 床開設) の総合病院を首都ソフィアの森林 公園の隣に開院しました。この事業は現理事長の 鈴木隆夫先生が統括し,全国の徳洲会が協力しま したがあくまですべてブルガリアの人々が行い、 医師看護師などが日本の徳洲会病院で研修しまし た. 医師は 30-40 歳代を公募し, 麻酔科は最初 8 人募集に 300 人余が応募. Best and brightest が 集まってきました、その後順調に発展、心臓外科 などは心移植をはじめ日本の榊原記念病院程度の 業務を行ってきたのです.

ブルガリア共和国

人口 705 万人 (2017年) 面積 10,993 平方キロ (日本の約3分の1)

民族 ブルガリア人約80%,トルコ系9.7%. ロマ 3.4 % など

一人当たり GDP 8,077 ドル (76 位 中国 74 位) (2017年)

日本は38,4481 ドル (25 位) ブルガリア国の GDP は世界 76 位 経済成長率 3.9 % (2016 世銀) 物価上昇率 -0.8 % (2016 世銀)

湘南藤沢徳洲会病院麻酔科痛みセンター

ブルガリアの歴史

第一次ブルガリア王国成立 (~1018年) 681 年 1185 年 第二次ブルガリア王国成立 (~1396年) 1396 年 オスマントルコによる占領 (~1878年)

1879 年 第3次ブルガリア王国成立(~1944年)

1944 年 共産主義政権成立

1946 年 ブルガリア人民共和国成立

1989 年 共産党独裁制終焉 1991 年 民主的な新憲法

2004 年 NATO 加盟

2007年 EC 加盟

初めてのブルガリア訪問

医療法人徳洲会の海外関連病院第一号となった ブルガリア国の首都ソフィアの徳田病院 (トクダ ボルニツア ソフィア) が 2006 年 11 月開院, その 祝賀会がわれました.今回は第一期工事で9階建 て 500 床が完成,第2期工事が進行し合計 1016 床となります.

11月27日午後,寒冷地での石炭暖房による霧 の中をソフィア空港に到着.麻酔酔集中治療科 チーフのシメオノフ先生,大阪の国立循環器セン ターでも学んだ心臓外科麻酔のポーネフ先生に迎 えられて病院へ、都心に近い森林公園に接した病 院は最後の仕上げ中で,病院前までの3車線の道 路が開通,門前の植え込みの手人れも行われてい ました、この地域で戦後初めて新設された病院の 建築というこの慣れない場所での危険な工事をト ルコから資材を運んだりして行った間組の日本か らのラッパズボンの若い職人さんたちも細部の整 備中.福岡徳洲会病院から派遣されている看護師 の青柳さんにもお会いしましたが, 笑績を絶やさ ず,プルガリア看護協会の雑誌に写真人りで紹介 されています.

^{*}生駒市立病院麻酔科

スタッフに案内されて最新式の MRI, 検査室, 手術室と ICU などを見学. 麻集中治療科に選はれたスタッフは 40 歳代を中心とした麻酢科医たちで小児麻酔. 心臓麻酔. 産科麻酔の専門家を含んでいます. また, この国の制度で,訓練された麻酔集中治療科の看護師も選はれています. 高地のため夜は零度を下る中でスタッフ数人がサラダ,チーズ, 焼肉などのプルガリア料理でさきやかな歓迎会を開いてくださいました.

翌日,開院式の当日,朝7時半にボーネフ先生 に迎えられ、日本の徳洲会病院と同じように8時 会に出席. プルガリア語の発言には日本語への通 訳,英語はそのまま.途中,日本から徳田哲徳洲 会副事長夫妻,鈴木降夫専務理事,徳田虎雄理事長 の長年の後援者であるハワィのクイーンズメディ カルシステム名譽理事長.ハワイ大学顧間のルー ス小野さんらが到着.徳洲会の挨拶と共に,ルー ス小野さんが徳洲会の医療活動は徳田理事長とい う傑出した人がいなければ実現しなかったがその 背後には日本で忠実に動いている多くの人々がい ることを忘れないでほしい話されました、続いて ブルガリアの女性による草月流風の大きな生け花 の飾られたエントランスで職員多数の集まる朝の 集会が日本と同じように行われ,徳洲会理念をプ ルがリア語で唱和.

開院式は玄関の外,屋外で行われ,プルガリア正教の司祭5人による祝福の後, プルガリアの経財相,厚生相,在プルガリア福井宏一郎日本大使の流暢なブルガリア語の挨拶もあり,プルガリアの人々の永年にわたる熱心な動誘の未,この日に至った経緯が述べられました.当日夕には国立ホールで祝賀パーティがあり,徳洲会と関係のある英国やアフリカ諸国の代表も挨拶され,多くの有名なオペラ歌手を出してきたブルガリアのコーラス,天ぶらの屋台も出てにぎやかでした.

翌日帰国前の1時間ほど,タクシーでサッカー 競技場の前からソフィア音楽院を通って中心部の ネフスキー教会などソフィア中心部を回り,古い ヨーロッパの雰囲気を残していますが,経済的



図 1 . ソフィア徳田病院の南にそびえる ヴィトシャ山 海抜 2,292 M



図 2. ヴィトーシャ山中腹から見た徳田病院 (2009 年 4 月)

な疲弊が続いて整備はこれからという市内を車の中から見ました.このタクシー代は日本円で僅か 1000円くらいでしたが,今はEC加盟により経済面でも急速に西欧のレベルに近づいています.

ローマ帝国の時代に遡る長い歴史を持ち,スラブの盟主であったプルガリアはオスマントルコによって征服され,露土戦争による解放,しかし,2回の世界大戦には敗戦国側となり,共産主義による圧制などを経て,東欧の模範的な民主主義国家を築き,2007年1月から晴れてEC加盟を果たしています.若い医師たちと話すと,自国の歴史と伝統に大きな誇りを持っています.また,直接敵対関係のなかった日本にも大変親しみの感情を持っています.この古い歴史があり誇り高い国の発展を願い,空港では出国まで手を振って送ってくださったポーネフ先生達の活躍を信じて帰国

の途に就きました.

ブルガリア日本麻酔科合同シンポジウム

その後もソフィアの麻酔科医と日本の各地の麻酔科医との交流は続いていましたが、合同シンポジウムを開くことになり、2009 年 4 月のまだ肌寒い初春のソフィアを訪れ次のような合同シンポジウムを行いました.日本側の一行はシメオノフ先生たちの案内で歴史あるソフィアの街を訪ねることもできました.

Friday 10 April,2009

13:00 Opening Remarks Dr. Georgi Simeonov

Chaired by Bulgarian delegate

13:05 Intensive care in Japan Dr. Reiji Kajeda

13:35 Intensive care in Bulgaria Dr. Georgi Simeonov

Chaired by Bulgarian delegate

14:05 Cardiac anesthesia at the Hayama
 Heart Center Dr. Takkeshi Nomura
 Cardiac anesthesia at the Tokuda Hospital Sofia Dr. Alexander Petkov

Chaired by Dr. Simeonov

15:05 Presentation by Professor of Anesthesiology at Sofia University

15:35 Intermission and poster viewing

Chaired by Bulgarian delegate

16:00 Tokushukai Medical Assistance Team (TMAT) Dr. Kazuyoshi Harano

Chaired by Bulgarian delegate

16:30 Different Monitors of EEG; Auditory evoked potentials index, cerebral state index, and bispectral index Dr Tomoki Nishiyama

17:00 EEG monitoring during anesthesia in Bulgaria Bulgarian delegate

Chaired by Bulgarian delegate

17:30 Present status of pain treatment in Japan Dr. Naosuke Sugai

18:00 Nerve blocks under ultrasound guidance in Blugaria Bulgarian delegate

18:30 Nerve blocks under ultrasound guidance in Japan Dr. Takeshi Nomura

19:00 Closing remarks Dr. Naosuke Sugai

19:15 Business Meeting and Party

ソフィア徳田病院とその後

その後ソフィアの徳田病院は順調に発展し、公的な医療保険制度の設立にも助力してブルガリアの医療近代化に貢献してきました.2015 年 5 月末から 6 月にかけてベルリンでヨーロッパ麻酔科学会に出席した私は帰途、ソフィア徳田病院を再訪しまし、病院のそばには瀟洒なホテルもできて医療ツアーを受けられるようなり、心臓外科を始め外科系各科が充実した麻酔集中治療科の支援のもとに活発な医療を行い、ブルガリアの制度で外来部門は入院部門とは別組織で同じ建物の中で多くの患者を診察していました.2016 年上半期の情報によると、570 床、86 %利用、オペ室 3 か所24 室・2016 年-1-6 月で麻酔7,638 例、ICU 患者418 名、麻酔科医19-20 人、麻酔ナース48-51 人とのことでした.

その後医療法人徳洲会が再発足し,ソフィア徳田病院は徳田家に所属していたため,トルコの法人ACIBADEMに買収されました.ACIBADEMは当時22の病院と17のクリニックを擁する大組織でバルカン半島の医療に大きな貢献をし,ブルガリア初進出にあたり,徳田病院の名前で徳洲会の理念を踏襲しています.あらためて医療は技術,建物だけではなく,あらゆる人にできるだけの手を差し伸べるという理念が先にあり,バルカン半島における医療の向上にこの理念をもって徳洲会が関与し,私自身も少しでも協力できたことをうれしく思っています.

(この報告の一部は茅ケ崎医師会報第 76 号に掲載された)

ABSTRACT

Tokuda Hospital Sofia initiated by a Japanese private medical corporation Tokushukai to introduce hospital management and medical technology to the Balkan Peninsula

Naosuke Sugai and *Kenshu Ota

Tokushukai with its philosophy of providing best available medical care to all people opened its first general hospital in Europe at Sofia Bulgaria close to the city's forest park in November 2006. Dr. Torao Tokuda, founder of the Tokushukai Corporation by the ardent invitation from Bulgaria decided to build a general hospital there with no new hospital built after the WW II. All doctors and nurses are from Bulgaria and many of them visited Tokushukai hospitals all over Japan and learned how Tokushukai was doing to deliver good medical care in large cities and rural area including remote islands. The hospital started with 500

beds and now with 1000 beds. At the beginning Department of Anesthesiology and Intensive Care started recruiting 8 anesthesiologists with more than 300 applying. It also had a good cardiac surgical group. One of the authors Naosuke Sugai had a good fortune of visiting the opening of the hospital and inviting Bulgarian anesthesiologists for joint meetings and discussions in Japan and Bulgaria. Tokuda Hospital Sofia was bought by a large Balkan medical corporation Acibadem City Clinic in 2016 but maintaining the name of Tokuda Hospital Sofia. We are glad that we have contributed to the modernization of hospital care in Balkan Peninsula with mutual cooperation.

Departments of Anesthesiology, Shonan Fujisawa Tokushukai Hospital, and *Ikoma City Hospital

Key words:

Sofia Bulgaria, Tokuda Hospital Sofia, Tokushukai Medical Corporation, general hospital, medical technology

地理情報システム Geographic Information System を用いた 麻酔科医マンパワー解析方法論 佐和 貞治

要旨

地理情報システム Geographic Information System(GIS) では、様々な地理情報をコンピューターの地図上に可視化して、情報関係性や傾向を視覚化する.麻酔科医のマンパワー解析などに参画する中で、GIS 解析における基本的手法について整理する.医療施設位置情報は、Google Maps Geocoding API ヘアクセスして得られた XML 形式から抽出して取得した.統計解析・グラフ作成については RStudio、GIS 解析および地図情報作成にはオープンソース地理情報システム QGIS を用いた.その他、地理院地図空中写真 GSI Maps、国土数値情報の行政区地図情報、NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 標高データ、総務省国勢調査を利用した.地図情報の中で行政区の地理的境界情報を組み込むには、ベクトル形式の標準フォーマットである shapefile 形式が利用できる.GIS を用いた解析手法は、麻酔科医・集中治療医が関わる地域医療や日本全体の医療の実態調査や未来予測などにおいても、人口統計などと連動した GIS 解析が視覚的な理解を進める上で重要である.

はじめに

地理情報システム Geographic Information System(GIS)では、様々な地理情報をコンピューターの地図上に可視化して、情報関係性や傾向を視覚化する、麻酔科・集中治療領域においても、このような手法を用いたマンパワー解析などは今後、重要性を増すもの考える、今回、厚生労働科学研究地域医療基盤開発推進研究事業「麻酔科標榜資格を保持している医師の実態把握に関する研究」(研究代表者:稲田英一)や、日本専門医機構麻酔科領域専門研修専攻医の採用状況調査、京都府地域医療構想と麻酔科医のマンパワー解析などに参画する中で、GIS 解析における基本的手法について経験したことを参考までに整理する。

1. Geocoding で経度と緯度を得る.

Geocoding は,インターネット上の情報サービス (Google MAP Geocoding や,Yahoo MAP API など)を通じて,住所やランドマーク名から経度,緯度を得る方法である¹⁾.限定された件数の変換であれば,Goecoding情報サービスを仲介してくれるウェブサイト (https://www.geocoding.jp,



図 1. 京都府立医科大学 Geocoding (https://www.geocoding.jp を利用)

http://ktgis.net/gcode/geocoding.html の利用でも対応可能である $^{3-4)}$. 例えば,京都府立医科大学の場合であれば,その住所「京都府 京都市上京区河原町通広小路上る梶井町 465 番地」に対して,座標 (WGS84) 位置「緯度: $^{35.024499}$ 経度: $^{135.769912}$ 」を得る (図 1).

今回,数千件という情報医療施設の位置情報をまとめて得るために,Microsoft Excel 専用マクロを作成し,HTTP リクエスト経由にて Google Maps Geocoding API(標準 API ユーザー有料 Plan) へアクセスして得られた XML 形式から抽出して取得した.以下に,少し詳細に概説する.Googleは,2018年6月から Google マップのサービスを大幅に刷新し,Google Maps APIを3つに統合し,新しく Google Maps Platform としてスタートした(図2).それまでの無料のサービスでは,Google Geocoding API 使用時のクエリ制限として,1日あたりの位置情報リクエストが2,500回,一秒間に50回までと制限されていたが,Google Maps Platform の利用は使用量に応じた料金体系に統一(ただし月 200ドル分は無料)された.

Google Maps Platform の利用には,APIキーが必要であり,Google Map Platform(https://developers.google.com/maps/documentation/geocoding/start)にログインし,Google Cloud Platform Consoleより,支払い情報(クレジットカード)を提供の上で取得する.(図3)

取得した Google Maps Geocoding API キーを Web サイトの HTTP リスエストにあるスクリプトタグ内に,住所情報とともに以下のように記述 する.

https://maps.googleapis.com/maps/api/geocode /xml?address=住所&key=key

上記 HTTP リクエストにより,指定したフォーマット $\operatorname{(XML}$ や JSON 形式) に埋め込まれた経度,緯度情報を取得することができる.

多量の住所情報から, まとめて複数の経度, 緯度情報を直接 Microsoft Excel ファイルに取得するために, Microsoft Excel 専用マクロ(表 1)を作成して, HTTP リクエスト経由にてアクセス

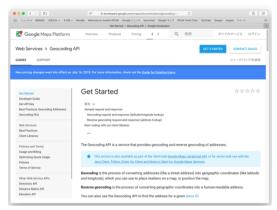


図 2. Google Maps Platform

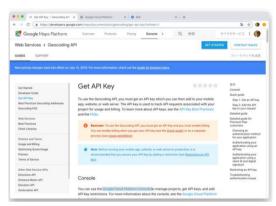


図 3. Google Cloud Platform Console

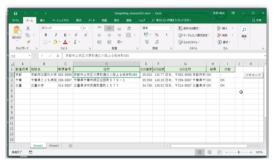


図 4. マイクロソフトエクセルを用いた Google Maps Geocoding の利用

し,得られた XML 形式から抽出して Microsoft Excel ワークシートに取得した (図 4).

表 1. Google Geocoding Excel Macro 例 (INFITH VBA Lab. Google MAP Geocoding API を使って緯度経度を取得する (xml 版) を参考)⁴⁾

```
'Google Geocoding API Macro Subroutine
Public Sub GeoCode()
Dim i As Integer
    'ジオコーディング繰り返し件数の設定 1,000 件
For i = 0 To 1000
If ActiveSheet.Range("D2").Offset(i, 0).Value <> "" Then
    'ジオコーディングの結果を配列に格納(緯度、経度、住所、ステータス)
strData = Split(GeoCoding_LatLang(ActiveSheet.Range("A2").Offset(i, 0).Value & "," & ActiveSheet.Range("B2").Offset(i, 0).Value & "," & ActiveSheet.Range("C2").Offset(i, 0).Value & "," & ActiveSheet.Range("D2").Offset(i, 0).Value), ",")
    'ジオコーディングの結果配列要素をエクセルワークシート上のセルに格納(緯度、経度、住所、ステ
一タス)
    ActiveSheet.Range("E2").Offset(i, 0).Value = Val(strData(0)) '緯度
    ActiveSheet.Range("F2").Offset(i, 0).Value = Val(strData(1)) '経度
    ActiveSheet.Range("G2").Offset(i, 0).Value = strData(2) '住所
    ActiveSheet.Range("H2").Offset(i, 0).Value = strData(3) '複数結果
    ActiveSheet.Range("I2").Offset(i, 0).Value = strData(4) 'ステータス
End If
Next i
End Sub
'GoogleMaps API XML 形式でジオコード取得関数
Function GeoCoding LatLang(ByVal adress As String) As String
〈途中省略〉………..
'Google Maps Geocoding API:
'*********部分は Google Geocoding API キーコード入力
'*下線部分は出力ファイル形式指定: xml か ison を選択可能
Encode_Uni2UTF(adress)
〈途中省略〉………..
        Case "OK"
            'lat 要素(緯度)取得
            Set xmlLat = .SelectSingleNode("//GeocodeResponse/result/geometry/location/lat")
            strGeocode = xmlLat.Text
            'lng 要素(経度)取得
            Set xmlLng = .SelectSingleNode("//GeocodeResponse/result/geometry/location/lng")
            strGeocode = strGeocode & "," & xmlLng.Text
            'add 要素(住所)取得
            Set xmlAdd = .SelectSingleNode("//GeocodeResponse/result/formatted_address")
            strGeocode = strGeocode & "," & xmlAdd.Text
〈途中省略〉………..
```

2. 地理境界線情報シェープファイル

Geocoding により経度・緯度情報が得られた施設情報を地図上にマップするためには,経度緯度情報を元に作成されたいわゆる「地図」の境界情報

が必要である.標準的には,ESRI社の提唱したベクトル形式の業界標準フォーマットであるシェープファイル (Shapefile) が用いられる 5).シェープファイルは複数のファイル (表 2) から構成され

表 2. 主な構成ファイル (ファイルの拡張子とその概要)

.shp: 図形の情報を格納する主なファイル。(必須) .shx: 図形のインデックス情報を格納するファイル。(必須) .dbf: 図形の属性情報を格納するテーブル。(必須) .prj: 図形の持つ座標系の定義情報を格納するファイル。 .sbn および.sbx: 空間インデックスを格納するファイル。

ており,うち必須のファイルは3つあり,このうち1つでも欠けると GIS アプリケーション上でシェープファイルと認識することができない.その他にもいくつかの以下のような構成ファイルがあり,一つのフォルダ内におさめて利用する.

主なシェープファイルの入手先は参考文献 $^{6-8)}$ の通りである.

3. 地理情報

統計解析・グラフ作成についてはRStudio,GIS解析および地図情報作成にはオープンソース地理情報システムQGIS(2.18.15及び3.0.0)を用いた.その他,地理院地図空中写真GSIMaps,国土数値情報の行政区地図情報,NASAShuttle Radar Topography Mission (SRTM)標高データ,総務省平成27年国勢調査を利用した.これらの提供サイトを参考文献にリストしておく9-14).

表 3. 都道府県々からコードマップを描く R コード

#日本都道府県別シェープファイルの読み込み

jpn <- readShapePoly("JPN_adm1.shp") # シェープファイル読み込み jpndata <- read.dbf("JPN_adm1.dbf") # dbfファイル読み込み

#日本列島全体

xlim <- c(122, 154) # 経度 ylim <- c(20, 46) # 緯度

#麻酔科医数都道府県別統計データ

stat1 <- read_csv("stat1_2018.csv")

#都道府県データと麻酔科医数都道府県別統計データを統合

jpndata1 <- merge(jpndata, stat1, sort=F, by.x="NL_NAME_1", by.y="都道府県")

#日本地図に専攻医数をプロット

plotvar <- jpndata1\$一次採用2019

nclr <- 8

plotclr <- brewer.pal(nclr."BuPu")

class <- classIntervals(plotvar, nclr, style="quantile")

colcode <- findColours(class, plotclr)

par(family="HiraKakuProN-W3")

plot(jpn, xlim=c(126, 146), ylim=c(26, 46))

plot(jpn, col=colcode, add=T)

title(main="麻酔科領域専攻医:一次採用数2019", sub="Quantile (Equal-Frequency) Class Intervals") legend("bottomright", legend=names(attr(colcode, "table")), fill=attr(colcode, "palette"), cex=0.6, bty="n")

4. RStudio を用いた都道府県別カラーコードマップの作成例

2019 年度の麻酔科専攻医の応募採用状況 (一次 応募) について, RStudio を用いて, 日本列島 (都 道府県境界) シェープファイルを読み込み, 都道

府県別の採用数の違いをカラーの濃淡で表示するマップを描いた (図 5) . RStudio では,R コードを実行して,グラフ表示させることのできる R の統合開発環境である.Rstudio で読み込んだ R コードを表 3 に示す.R コードを用いて,日本列

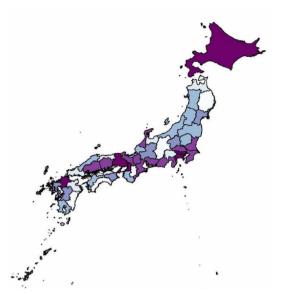


図 5. 都道府県別の日本専門医機構 2019 年 日本専門医機構麻酔科専攻医の応募採用状況 (一次募集時点)

島都道府県のシェープファイル (JPN_adm1.shp) を指定し、シェープファイルの属性ファイル (JPN_adm1.dbf) と別途用意した都道府県別の採用専攻医数の csv ファイル (stat1_2018.csv) とを,merge() 関数で合わせるキーフィールド名 (NL_NAME_1"と、"都道府県") を指定して、合体させる・最後にカラーコードに指定する変数 (plotvar: jpndata1\$一次採用 2019) や、カラーコード種別 (plotclr) を指定して、plot() 関数で描画した・

5. QGIS を用いた標榜医アンケート 調査施設マップ作成

オープンソースの GIS ソフトウェアである せて表示させ QGIS を用いて,厚生労働科学研究地域医療基盤 スペースシャ 開発推進研究事業「麻酔科標榜資格を保持してい 地球の標高デ る医師の実態把握に関する研究」(研究代表者:稲 せ,QGIS の田英一)において,調査対象となった医療施設の 用いれば 3D 3マップを作成した(図 6: 5017 施設が対象となり, きる(図 7e).



図 6. 厚生労働科学研究地域医療基盤開発推進研究 事業「麻酔科標榜資格を保持している医師の実態把 握に関する研究」(研究代表者:稲田英一)において, 調査対象となった医療施設のマップ (5017 施設が 対象となり,うち回答施設は緑,無回答施設は赤点)

うち回答施設は緑,無回答施設は赤点.注:調査の詳細については調査中でもあり,内容に関する記述は控える).また同調査において,東京都のデータについて,図7のように地理情報を重ねて表示した.このように日本全国の多数の施設を対象としたアンケート調査等では,必ず未回答施設のデータを推定して,全国の状況を推定する必要があり,そのためには回答および未回答施設の分布を視覚的にも把握できれば,調査結果の解析の質向上に繋げられる.

地域における詳細な検討として,東京都の例を図7に示す.QGISを用いれば,施設ごとの常勤標榜医数を円グラフとして重ね合わせたり(図7a),地形データを示す航空写真画像を重ね合わせて表示させることができる(図7c, d). さらにスペースシャトルのレーダー解析 NSRT による地球の標高データをカラーマップとして重ね合わせ,QGISの3D表示プラグイン Qgis2threejsを用いれば3D立体グラフとして描画することができる(図7e).

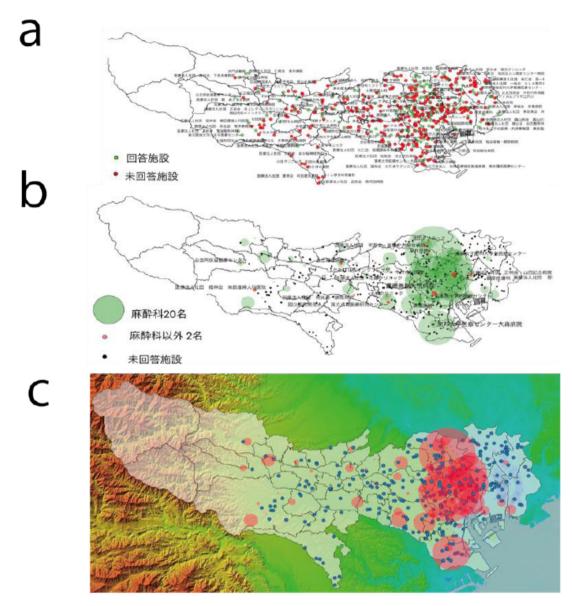
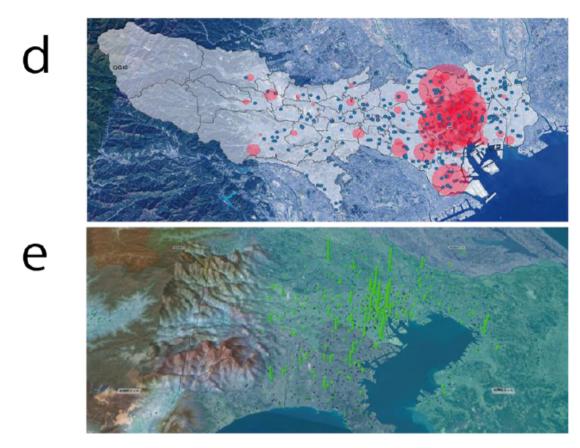


図 7. 厚生労働科学研究地域医療基盤開発推進研究事業「麻酔科標榜資格を保持している医師の実態把握に関する研究」(研究代表者:稲田英一)において,調査対象となった東京都の医療施設のマップと,常勤標榜医数を円で描く.a. 調査対象施設(回答施設は緑,無回答施設は赤点)b. 施設ごとの常勤標榜医数(円の大きさで表現)c. b に衛星写真を重ねる.



d. b に別の衛星写真を重ねる . e. SRTM 標高データを加えて , 3D 表示プラグイン-Qgis2threejs を用いて , 常勤標榜医数を立体棒グラフとして , 立体地形図に重ねて表示 .

まとめ

GIS を用いて,医療施設常の位置情報を利用して,行政区の地理的境界情報に施設位置を組み込み,さらに施設ごとの統計情報をグラフ化して表現することが可能となる.地理的協会情報では,ベクトル形式の標準フォーマットである shapefile 形式が利用できる.GIS 情報を R 言語と RStudio を用いて解析し,その結果を画像として表示していくことも有用である.一方,QGIS は,地理情報システムの閲覧,編集,分析機能を有するオープンソース GIS ソフトであるが,高い機能・操作性を備えており,複数の地理情報を地図上に重ねて表示していくことが可能であった.GIS を用いた解析手法は,麻酔科医・集中治療医が関わる地域医療や日本全体の医療の実態調査や未来予測な

どにおいても,人口統計などと連動した GIS 解析が視覚的な理解を進める上で有用性が高いと考える.

参考文献

- 1. Developer Guide Geocoding API Google Developers. (ア) https://developers.google.com/maps/documentation/geocoding/intro 2019 年 1月5日アクセス
- 2. Geocoding.jp. https://www.geocoding.jp 2019 年1月5日アクセス
- 3. KTGIS.net.Yahoo!マップを使ったジオコーディング・地図化 http://ktgis.net/gcode/geocoding.html 2019 年 1 月 5 日アクセス
- 4. INFITH VBA Lab. Google MAP Geocoding API を使って緯度経度を取得する (xml 版) https://infith.com/system/excel/google-maps-geocoding-api/ 2019 年 1 月 5 日アクセス

- 5. Esri ジャパン. GIS をはじめよう. シェープファイルについて. https://www.esrij.com/getting-started/learn-more/shapefile/ 2019 年 1 月 5 日アクセス
- 6. 国土交通省 GIS データのダウンロード. http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/inspect /landclassification/download/index.html 2019年1月5日アクセス
- 7. ESRI ジャパン 全国市区町村界データ https://www.esrij.com/products/japan-shp/ 2019年1月5日アクセス
- 8. Global Administrative Areas. http://www.gadm.org/country 2019年1月5日アクセス
- 9. RStudio. https://www.rstudio.com 2019 年 1 月 5 日アクセス
- 10. オープンソース地理情報システム QGIS. https://www.qgis.org/ja/site/2019年1月5日 アクセス
- 11. 地理院地図空中写真 GSI Maps. https://maps.gsi.go.jp/ 2019 年 1 月 5 日アクセス
- 12. 国土数値情報の行政区地図情報 http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/jpgis/datalist /KsjTmplt-N03.html 2019 年 1 月 5 日アクセス
- 13. NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 標高データ. http://www.kashmir3d.com/srtm/2019年1月5日アクセス
- 14. 総務省平成 27 年国勢調査. https://www.stat.go.jp/data/kokusei/2015/kekka.html 2019 年 1 月 5 日アクセス

ABSTRACT

A manpower analysis of anesthesiologists in

Japan using Geographic Information System
Teiji Sawa

The Geographic Information System (GIS) visualizes various geographical information on a computer map to visualize information relationships and trends.

While participating in manpower analysis of anesthesiologists in Japan, basic methods in GIS analysis are summarized. The location information of medical facilities was extracted from the XML format obtained by accessing the Google Maps Geocoding API. We used RStudio for statistical analysis and graph creation, open source geographic information system QGIS for GIS analysis and map information creation. In addition, we used Geographical Survey Map Aerial Photo GSI Maps, Administrative Region Map of National Land Numbers Information, NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Elevation Data, Ministry of Internal Affairs and Communications Census. To incorporate the geographical boundary information of the administrative district in the map information, the shapefile format, which is a standard format in vector form, can be used. In the analysis method using GIS, the GIS analysis linked with demographics promotes a visual understanding in the survey of actual condition and the future prediction of medical community involving anesthesiologists and intensive care physicians.

Department of Anesthesiology, Kyoto Prefectural University of Medicine

手術室でも使える翻訳アプリの比較検討 野上俊光,田中佳代,東 兼充*

はじめに

国際交流に伴い手術を受ける外国人患者が増加 している、患者本人の日本語能力が高ければ対応 は容易だが,必ずしもそうではない.英語が通じ る場合なら,まだ対応はしやすい.最近は日本語 も英語も通じにくい患者に出会うようになった.

術前診察時には日本語の分かる親族や通訳者が 同席していることが多く,あまり困らない,会話 ごとに音声認識をして翻訳してくれる「機械翻訳」 の結果を待てる「時間的なゆとり」もある.麻酔 導入時も,まだ文字が読めるので翻訳カードを示 して意思の疎通をはかったり、家族や通訳者に入 室してもらう事が可能である.しかし麻酔覚醒時 には,手術時間の変動があるため通訳者の待機や 入室は困難となる、眠っている患者には文字では なく,音声による声掛けが必要となる.

翻訳機器の進歩は著しい.スマートフォン(ス マホ) のアプリケーション (アプリ) を利用する と, 音声認識や音声出力も実装され, 実用レベル になってきている.

手術室内で利用するには,電波機器が ME 機器 に与える影響のため,電磁両立性を考慮する必要 がある、電波障害を与えないという面から,まず オフラインでの使用を前提に,多言語に対応して いて使いやすく,迅速に応用できる翻訳アプリに ついて比較検討した.近年は電磁両立性の面での 安全性が向上しているので,オンラインでの利用 についても検討を加えた.

方法

手術室で使いやすい機器として,大きさや持ち 運びしやすさから,スマホの翻訳アプリを選択し て検討した.手術室では電波障害についての配慮 が必要となる.手術室での翻訳アプリの応用には, るという3ステップが必要だった.

音声対応のみでなく,電波を発信しないオフライ ン状態(機内モード)での利用が十分にできるか, にポイントを置いた.麻酔覚醒時に音声を使って 「眼をあけてください」「手術は終わりました」「手 を握ってください「深呼吸をしてください」「口 をあけて下さい」などの音声指示を行う状況を想 定し, あらかじめオンラインで翻訳を済ませてお き,履歴が残るか?複数の翻訳済み履歴を使って オフラインでも迅速に音声指示が出せるか? な どの視点から比較検討した.

翻訳アプリの選択:

Google 検索し,音声翻訳ツールやオフライン でも使える翻訳ツールのアプリランキングから比 較対象とするアプリを選んだ.どの施設でも使い 易いアプリという視点から、スマホで使えて無料 で入手し易く,多言語対応,音声で入出力ができ る Android 版と iPhone 版アプリを取り上げた. オフライン状態は機内モード, Wi-Fi をオフ状態 で実施した.

Android 版アプリでは ,1) Google 翻訳 (Google LLC), 2) Naver Papago 翻訳 (NAVER Corp.), 3) Microsoft 翻訳 (Microsoft Corporation),4) 音 声翻訳 (AxismobInc.) を選んだ.

iPhone 版では、1) Google 翻訳 , 2) 音声&翻訳 - 翻訳機 (Apalon Apps), 3) Microsoft 翻訳, 4) Naver Papago 翻訳を取り上げた.

果

Android 版アプリの結果.

1) Google 翻訳では翻訳の履歴は残るものの,機 内モードでは音声が出なかった (図 1-3). オンラ インにすると音声はでるものの,a) 複数の履歴か ら音声を選び,b)音声を出力し,c)また履歴に戻

成尾整形外科病院 麻酔科

^{*}くまもと麻酔科クリニック



図1. Google翻訳の画面. 音声入力後、翻訳履歴が 残っていく



図2. Google翻訳. 翻訳履歴から、タップし て文章を選択する



図4. Microsoft翻訳:初期画面.マイク印を押して音声入力をし、翻訳をする. 翻訳履歴は左下の時計マークを押すと現れる.



図5. Microsoft翻訳: 履歴画面. スピーカー印を押すと、オンラインなら1pushで音声が出る. オフラインでは音声は出力されない. 上下にスワイプすると翻訳履歴が一覧できる.



図3.Google翻訳. 機内モードでも翻訳のテキ ストは表示される. Android版アプリでは音声は でない(この図)が、iPhone 版アプリでは音声がでる.



図6. Android版の音声翻訳. オフラインでも履歴から音声を出力できる. 旗印で言語を選択. マイクで音声を入力. 翻訳後の履歴に表示される黒い三角印を押すと、翻訳された文章が音声で出力される.

- Naver Papago 翻訳も Google 翻訳とほぼ同じ使い勝手であった。
- 3) Microsoft 翻訳では履歴は残るが,機内モードでは音声が出なかった.オンラインでは複数の翻訳履歴から 1push で選んだ音声が出力できた(図 4-5).
- 4) 音声翻訳では機内モードでもオンラインでも 翻訳履歴を使い, 1push で選んだ音声が出せた (図 6).

iPhone 版アプリの結果.

- 1) Google 翻訳は Android 版とは異なり,機内 モードでも履歴を使い音声が出せた.ただし1ス テップではなく,a)複数の翻訳履歴から選び,b) 音声を出力し,c)また履歴に戻るという3ステッ プが必要だった.オンラインでも同様であった.
- 2) 音声&翻訳 翻訳機は,以前は無料であったが,開発会社名が変わり,無料の試用期間が限定され,使用を継続するには毎月の課金を支払う仕様に変更されていた.使い勝手は機内モードでもGoogle 翻訳と同じく3ステップで音声が出せた.オンラインでも同じ使い勝手であった.
- 3) Microsoft 翻訳は, Android 版と同じ使い勝手であり, 履歴は残るが機内モードでは音声が出なかった. オンラインでは複数の翻訳履歴から1push で選んだ音声が出力できた.
- 4) Naver Papago 翻訳は Android 版と同じ使い勝手であり、翻訳の履歴は残るものの機内モードでは音声が出なかった・オンラインにすると音声はでるものの、a) 複数の履歴から音声を選び、b) 音声を出力し、c) また履歴に戻るという3ステップが必要だった。

以上の結果をまとめる.

オフライン (機内モード) でも使えるアプリ比較: Android 版では音声翻訳が 1 ステップで文章を選んで音声出力ができ良かった. iPhone 版では Google 翻訳が,3 ステップを必要としたものの,音声が使用でき良かった.

オンラインでのアプリ比較: Android 版では音

表. 携帯電話の送信電力が低くなり規制が緩和された (主な送信電力の比較)

第2世代の携帯電話は800mW (2014年まで使われた) 第3世代以降の携帯電話は250mW PHS は80mW Wi-Fiは10mW Bluetooth(Class2:10m)は2.5mW

電波協議会ホームページ「医療機関における携帯 電話等の使用に関する指針」等の公表について¹⁾

平成26年8月19日付け医政総発0819第1号・薬食 安発0819第1号厚生労働省医政局総務課長・医薬食 品局安全対策課長連名通知:電波環境協議会による 「医療機関における携帯電話等の使用に関する指針」 について²⁾

声翻訳と Microsoft 翻訳が1ステップで音声をだ せ良かった.iPhone 版では Microsoft 翻訳が1ス テップで音声をだせ良かった.

検 討

I. 電子機器の利用規制

携帯端末が利用している電波の出力が 2014 年から小さくなったのに伴い , 利用規制が緩和された . 2014 年まで使われていた第 2 世代の携帯端末では , 送信電力が $800\mathrm{mW}$ 以下であった . それ以後は第 3 世代以降の携帯電話のみとなり , 送信電力が $250\mathrm{mW}$ 以下と従来の 1/3 以下になった . ちなみに PHS の送信電力は $80\mathrm{mW}$,通常の WiFi は $10\mathrm{mW}$ である (表) .

飛行機内や病院内での電波発信機器 (スマホやパソコン) 利用は規制緩和が進んできた.電波環境協議会の 2014 年 8 月 19 日付け通達を受け,総務省,厚生労働省はこの指針にそった改定を行うよう通達を出している ^{1,2)}.この「医療機関における携帯電話等の使用に関する指針」では以下のような 4 点に注意して各医療機関でルールを設定する,との記載がある.

(1) 離隔距離の設定:医用電気機器から 1m 程度離すことを目安とする.

(この目安は,2014年に第4版として発行された IEC 60601-1-2を基に翻訳作成された日本工

業規格, JIS T 0601-1-2:2012 の目安とされている. 2018 年も, そのまま踏襲されている)³⁾

- (2) マナーの観点を考慮して使用制限を設ける.
- (3) 個人情報・医療情報の保護から,録音やカメラ機能は原則として控える.
- (4)EMC 管理体制の充実を行う.

EMC とは Electro-Magnetic Compatibility の略語で「電磁的 (影響に対する) 耐性及び,自らが発出する電磁波などによる周囲の電気機器への影響 (電磁障害) を防止すること、電磁両立性を勘案すること」との説明がある、医療機関においては、良好な EMC 環境の実現に関する体制の充実のためには「EMC 担当者を設置することが望ましい」とし「EMC 担当者は、医療機関の EMC に関する管理体制の充実を図りつつ、他の関係部署と協力して携帯電話端末の使用に関するルールを策定する等の役割を担う」と示されている.

以上の総務省の指針を簡単にまとめると,(1)2014年以降は第3世代以降の携帯電話だけになったので,指針を見直した.(2) 植込型ペースメーカ・ICD に影響が出た最大距離は15cmから3cmと短くなった.(3) 国際規格(ISO14117等) で担保されている15cmを安全距離とした.(4)ME機器のEMC(Electromagnetic Compatibility) 規格であるJIS T0601-1-2における推奨分離距離は1mである.

II. エリアごとの使用ルールの設定

手術室,集中治療室,検査室,治療室などでは以下のように厳しい指針となっている²⁾.「このエリアで使用されている医用電気機器には,生命維持管理装置など,万が一影響が発生した場合のリスクが非常に大きいものが多くあることから,携帯電話端末の使用は原則として禁止すべきである.また,携帯電話端末は待ち受けの状態でも電波を発することがあるため,必ず電源を切る(または電波を発射しないモードとする)こと」.

指針では上記の記載がなされているので,当初 はオフラインや機内モードでの携帯端末利用をま ず検討した.その後,実際の障害事例では,総務 省の報告 4) から汎用輸液ポンプで 19cm ,体外式ペースメーカーで 3cm 以上の離隔距離をとれば , ほぼ影響はなく安全なので , 手術室内であってもオンラインでの利用を考えてよいのではないかと考慮した . EMC 委員会を立ち上げ院内のルールを制定できれば ,厚生労働省の指針に従っており , オンラインでの利用に問題は生じない . そこでオンラインでの利用についても検討を追加した .

III. 翻訳アプリの進歩と歴史

コンピュータプログラムを利用して,ある言語で書かれた文章を他の言語へと翻訳することを機械翻訳あるいは自動翻訳という.「機械翻訳」という発想が生まれたのは,1947年に Warren Weaverが暗号文の解読に似せて,ロシア語を暗号文ととらえ,英語に解読してみようと語ったのが最初だと言われている 50 .

機械翻訳は,文章を単語や文節 (フレーズ) などバラバラにしてから逐語訳をするルールベース翻訳 (Rule-Based Machine Translation :RBMT) から始まった.RBMT は文法に基づき,人手によって構築された変換規則を元に翻訳を行うシステムである.長所は,規則を厳密に定義するので公文書などの文法規則がはっきりとした翻訳においては精度が高い.短所は,会話文などの明確な文法規則が欠如しがちな翻訳においては精度が低い.人手によって文法変換規則を構築する必要があり,言語ごとに対応するしかなく開発コストは高くなる 6).

1980年代に入ると,IBM を筆頭に対訳コーパス(データベース化した対訳の言語資料)を利用する統計翻訳(Statistical Machine Translation: SMT)が開発・供給され,翻訳精度が上昇した7-10)。これはフレーズベースで対訳のデータを大量に集めて統計処理することで,翻訳規則や翻訳辞書に相当する翻訳モデルを統計・確率的に作成する.統計翻訳は専門用語の訳出に限れば,ルールベース翻訳より精度があがり開発コストも抑えられた.統計翻訳により機械翻訳の精度は上がってきたものの,文全体でなくフレーズ毎に訳出処

理をしていたので , 訳出精度にまだ問題が残っていた .

2014年になると人工知能 (AI) を応用した第3世代のニューラル機械翻訳 (Neural machine translation:NMT) が登場し,飛躍的に精度が上がった ^{11,12)}. 多言語対応も容易になった. 2016年には Google が NMT を採用している. NMT は人間の 脳を模したアルゴリズム「ニューラルネットワーク」を活用した文章の機械学習を採用している. 段階を踏んで学習するため,「ディープラーニング」とも呼ばれている. この翻訳システムは,文章をパーツごとに翻訳するのではなく1つの文として扱い,文の内容にそった,より正確な訳語の候補を見つける. その後,言葉の順番を変え調整することで,文法的により正しく,自然な翻訳をおこなう ^{13,14)}.

機械翻訳の進歩に加え,音声認識,音声合成, 読み上げソフトも進化し,これらが組み込まれた ソフトは使いやすくなっている.

IV. 麻酔科領域, 手術室内での特殊事情

手術室内に翻訳者を入室させたり,翻訳アプリを利用するには以下のような3つの視点から注意が必要となる.

- a) 手術室内では感染対策や個人情報保護などの面から入室者の制限がかかせないため,翻訳者の入室には制限がかかる.
- b) 手術室内の医療機器が電波により誤作動を起こさないよう,オフラインでの利用環境が安全策となる.
- c) 麻酔覚醒時には患者の視覚をあてにできない. 音声出力が必須となり,迅速性も求められる.

これらの条件を加味しながら手術前後の各場面 を検討していく.

術前の麻酔診察:翻訳済みの文書を準備したり, 日本語の通じる家族,通訳者同席などにより対応 可能となる.医師・看護スタッフも,定型文の翻訳 を文書などで準備すれば対応可能なことが多い.

手術当日:麻酔導入時は,患者の視覚を利用することができるので,翻訳文をあらかじめ準備し

ておく方法が使える.文書カードの提示をおこなうか,日本語の通じる家族・通訳者同席などにより対応できる.

麻酔覚醒時:家族や通訳者同席は困難.眼もなかなか開けにくいので,文書カード類は使えない.聴力が先に回復してくるので,音声によるコミュニケーションが必須となる.

必要な音声文章は、「目を開けてください」「手 術おわりましたよ」「深呼吸してください」「手を 握って下さい」「足を動かしてください」「痛くな いですか」「口をあけて下さい」「ムカムカしませ んか?」などの簡単な文章で、その数も数個と少 なくてよい。

麻酔覚醒時には患者の評価と対応を瞬時に行う必要があり、音声対応アプリの迅速な応用が必須となる.スマホの翻訳アプリでは、画面のタッチで音声が出てくるので、術前からこの操作をしておき、音声での対応を患者と共有しておけば、より安心である.

オフラインのみでは不便を感じる状況での対応: EMC 委員会で院内のルールを策定し,オンラインでの利用を認可する.もし EMC 委員会の立ち上げやルール策定が困難な場合には「機内モード下に Wi-Fi を使用する」ことにすれば,周囲の理解が得られ易い.

術後診察や回診:オンラインでのスマホアプリが使用できるので,おおきな問題は生じにくい.

まとめ

日本語も英語も通じにくい患者に対し スマホの翻訳アプリの利用を検討した.麻酔覚醒時には,オフラインで利用できる自動翻訳・音声出力機能が有用で,覚醒時の麻酔管理が容易になる.

オフライン (機内モード) でも使えるアプリ比較: Android 版では音声翻訳が 1 ステップで文章を選んで音声出力ができ良かった. iPhone 版では Google 翻訳が,3 ステップを必要としたものの,翻訳済みの音声が迅速に使用できた.

オンラインでのアプリ比較: Android 版では音声翻訳と Microsoft 翻訳が 1 ステップで音声をだ

せた.iPhone 版では Microsoft 翻訳が 1 ステップで音声をだせた.

自動翻訳アプリは術後回診,周術期のリハビリや栄養管理にも有益である.この場合にはオンラインでのアプリ利用で良い.国際交流が活発になり,自動翻訳も進歩している.今後も自動翻訳の発展,利用が期待できる.

本稿のすべての著者には規定された COI はない.

本稿の要旨は日本臨床麻酔学会第 37 回大会 (2017年,東京都)において発表した.

参考文献

- 1. 電波協議会ホームページ「医療機関における携帯電 話等の使用に関する指針」等の公表について (平成 26 年 8 月 19 日)
 - http://www.emcc-info.net/info/info2608.html
- 2. 平成 26 年 8 月 19 日付け医政総発 0819 第 1 号・薬食安発 0819 第 1 号厚生労働省医政局総務課長・医薬 食品局安全対策課長連名通知「電波環境協議会による「医療機関における携帯電話等の使用に関する指針」について」https://www.pmda.go.jp/files/000148257.pdf
- 3. 日本規格協会:日本工業標準調査会 審議 http://dmd.nihs.go.jp/jisedai/rehab/inner/related_standards/nd0% E6% A9% 9F% E6% A2% B0% E7% 9A% 84% E5% AE% 89% E5% 85% A8% E6% 80% A7/JIS% 20T% 200601-1-2.pdf
- 4. 医療機関における携帯電話等の使用に関する報告 書 p41
 - $https://www.emcc-info.net/medical_emc/pubcom2/2608_2.pdf$
- 5. wikiquote.org から Warren Weaver https://en.wikiquote.org/wiki/Warren_Weaver
- ルールベース翻訳 (鳥取大学大学院 工学研究科 情報エレクトロニクス 自然言語処理研究室)
 http://unicorn.ike.tottori-u.ac.ip/2011/s082052
 - $\label{eq:http://unicorn.ike.tottori-u.ac.jp/2011/s082052/paper/graduation/node19.html} http://unicorn.ike.tottori-u.ac.jp/2011/s082052/paper/graduation/node19.html$
- 7. 中岩浩巳,最近の機械翻訳を取り巻く状況変化と ニューラル機械翻訳技術 (一般財団法人日本特許情 報機構 Japan Patent Information Organization (Japio))
 - $http://www.japio.or.jp/00yearbook/files\\/2017book/17_4_02.pdf$
- 8. 潮田 明: ルールベース翻訳と統計翻訳の融合における syntax の役割一般財団法人日本特許情報機構 Japan Patent Information Organization (Japio))

- http://www.japio.or.jp/00yearbook/files/2009book/09-5-08.pdf
- 9. IBM 翻訳モデル (鳥取大学大学院 工学研究科 情報 エレクトロニクス自然言語処理研究室) http://unicorn.ike.tottori-u.ac.jp/2010/s072046 /paper/graduation-thesis/node9.html
- 10. 山本幹雄. 統計的機械翻訳入門 (筑波大学システム 情報系, 大学院システム情報工学研究科 CS 専攻) 自然言語処理グループ
 - http://www.nlp.mibel.cs.tsukuba.ac.jp/pdf/SMT2008.pdf
- 11. 中澤 敏明, 機械翻訳の新しいパラダイム: ニューラル機械翻訳の原理: 情報管理. 2017, vol. 60, no. 5, p.299-306.
 - http://doi.org/10.1241/johokanri.60.299 https://www.jstage.jst.go.jp/article/johokanri/60/5/60_299/_pdf/-char/ja
- 12. 日経トレンディネット 2017「Google 翻訳」の精度 が劇的に向上したワケ (http://trendy.nikkeibp.co.jp/atcl/column/16
- /032300106/090700005/?rt=nocnt) 13. ITmedia NEWS 2016: Google **翻訳が進化 日本語**
 - にもニューラルネット適用, 自然な訳に http://www.itmedia.co.jp/news/articles/1611 /16/news085.html
- 14. 吉川和輝編集委員. 自動翻訳なぜ急速進化 2 つの ブレークスルー (日本経済新聞 2017): https://www.nikkei.com/article

/DGXMZO12925810V10C17A2000000/

ABSTRACT

Comparative study of translation applications that can be used in the operating room

Toshimitsu Nogami, Kayo Tanaka, Kanemitsu Higashi*

Foreign patients receiving operations are increasing. Sometimes communication with a patient is difficult in Japanese and a translator or a translation apparatus is needed. However, it is often difficult to find a translator when needed. Fortunately, the technology of translation apparatus progresses. Because sound recognition and audio line output are implemented in smartphone applications, translation has become available for practical level use.

To use this technology in the operating room, it is necessary to consider electromagnetic compatibility because of the life threatening risks of electromagnetic influence of radio equipment to medical electronics. In terms of preventing radio interference, we first compare the translation applications in an offline situation. Since safety of electromagnetic compatibility has been improved in recent years, we have also examined online use.

We compared usability by assuming scenes awakening from anesthesia. When awakening from anesthesia, translated voice output is important.

Results of comparison of applications that can be used in offline (airplane mode): In Android version, "speech translation" is good because voice is easily usable by choosing sentences with one step. In the iPhone version, "Google Translate" can be used to output translated voice. However, 3 steps are needed; select a sentence, use voice and return to sentences.

On-line application comparison: In the Android version, "voice translation" and "Microsoft translation" can use voice in one step. In the iPhone version, "Microsoft translation" can use voice in one step.

The automatic translation application is also useful for postoperative rounds, rehabilitation and nutrition management. In these cases, we can use the application online. International hu-

man exchange has become active, and automatic translation is also progressing. It is expected that the development and utilization of automatic translation will continue in the future.

Key Words:

Foreigner, Anesthesia management, Automatic translation, Machine translation, Smartphone, Electric wave apparatus, Perioperative care, Electromagnetic compatibility

Division of Anesthesia, Naruo Orthopedic Hospital, 12-24 Okada-machi, Chuo-ku, Kumamoto City, 862-0958

*Kumamoto Masuika Clinic, 1st F Tsuda-haitu 1-3-1 Nuyamazu, Higashi-ku, Kumamoto City, 861-2102

著者連絡先:

野上俊光

〒 862-0958, 熊本市中央区岡田町 12-24 成尾整形外科病院, 医局, 麻酔科

Phone: 096-371-1188(5006) e-mail: nogami@nogaminet.com

*東 兼充

〒 861-2102, 熊本市東区沼山津 1 丁目 3-1 サンセール健軍東 1F くまもと麻酔科クリニック

paperChart で複数のモニター機器を効率的に 利用するための汎用モジュールの作成 斎藤 智彦

はじめに

paperChart で外部モニター機器を使用するには,設定ファイルdirenf.txtに外部機器用モジュールプログラム(以下 外部モジュール)とシリアルポートを指定する必要がある.paperChart 本体プログラムである NV.exe は,起動時に一度設定ファイルを読み込み,記録開始時に NV.exe と通信するために必要なパラメータを指定して外部モジュールを順次起動する.起動された外部モジュールは指定されたシリアルポートで外部機器との通信を待機する.記録開始後の外部モジュールの追加・変更などの動的な設定変更には対応していない.

通常,各手術室に常備されている機器に必要な数のシリアルポートを用意し,設定ファイルdirenf.txtにパラメータを記述する.使用頻度の低い機器や使用する手術室が定まっていない機器(例えば心拍出量モニターや筋弛緩モニターなど)の場合,接続構成が変わるたびに,設定ファイルdirenf.txtを書き換え,NV.exeを再起動する必要

がある.

自由に使用できるシリアルポートが限られている場合,同一のシリアルポートを使い分ける必要があり,その都度 direnf.txt を書き換えなければならず,変更には手間とリスクを伴う.

今回,これらの問題を解決するための機能を, NV.exe との通信モジュール PpcCtrl.dll に組み込 むことができたので報告する.

外部モジュール起動時の問題点

dircnf.txt の変更を行わない限り, NV.exe 起動時に常に同じ外部モジュールが起動され,指定したシリアルポートを独占し,モニター機器との通信を待機する.

たまにしか使用しないモニター機器の場合も direnf.txt に記載しなければならず,使用する可 能性のあるモニターをすべて direnf.txt に記載す るためには,多くのシリアルポートが必要となり, 接続時にも機器とシリアルポートが正しく接続さ れているかどうかのチェックが必要となる.

```
Command {
    new {
        //beginCommandNewDefinition (do not touch this bookmark line)
        module = monitors\(\frac{1}{2}\) exe /std_arg/ port=COM1:;
        module = monitors\(\frac{1}{2}\) module = monitors\(\frac{1}{2}\) module = monitors\(\frac{1}{2}\) MAROOOL.exe /std_arg/ port=COM4:;
        //module = monitors\(\frac{1}{2}\) LIDCO.exe /std_arg/ port=COM4:;
        //module = monitors\(\frac{1}{2}\) LIDCO.exe /std_arg/ port=COM4:;
        //module = monitors\(\frac{1}{2}\) TOFC.exe /std_arg/ port=COM4:;
        //endDefinition (do not touch this bookmark line)
        · · · &r (\frac{1}{2}\) &r (\frac{1}{2}\) do not touch this bookmark line)
        · · · &r (\frac{1}{2}\) &r (\frac{1}{2}\) module = \(\frac{1}{2}\) module = \(\frac{1}\) module = \(\frac{1}{2}\) module = \(\frac{1}{2}\) module =
```

図1. dircnf.txt 外部モジュール指定部分の抜粋

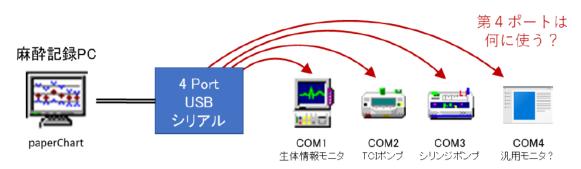


図 2 . NV.exe 動作時のシリアルポート構成

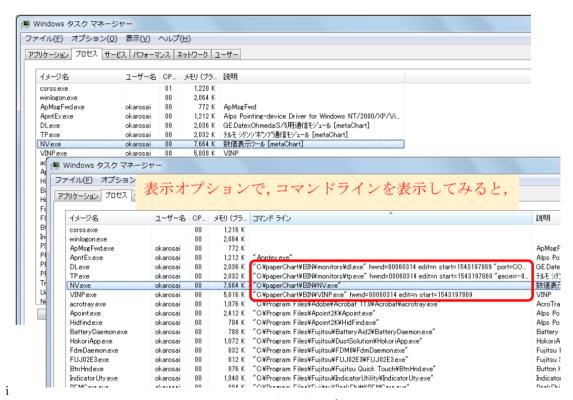


図3.タスクマネージャで実行プロセスを調べる

当施設では ,paperChart 用ノート PC に ,4 ポー・ター機器を接続し検証する必要が生じる . ト USB-シリアル変換器を使用しているが、3 つ のポートには, 生体情報モニターとシリンジポン プ2台が接続されており,自由に使用できるポー トは1ポートしか残っていない.心拍出量モニ ター,筋弛緩モニター,麻酔深度モニターなどの 外部機器を接続する場合,必要時に担当者(著者) が dircnf.txt を変更し NV.exe を再起動している. また,開発を行う場合は,さらにいろいろなモニ

起動する外部モジュールを 動的に変更する

前述したとおり、NV.exe は動的に起動モジュー ルを変更することはできないため , 外部モジュー ル側で切り替え機能を実装する必要がある.

外部モジュールが NV.exe に情報を送信するた めには、NV.exeのウィンドウハンドルと、NV.exe が計測を開始した時刻 (UNIX time) が必要であり,通常これらのパラメータは/std_arg/として記述されている./std_arg/は,NV.exe が外部モジュールを起動するときコマンドライン引数に展開され,NV.exe のウィンドウハンドル hwnd と計測開始時刻 start としてプログラムに渡される.

この2つのパラメータの値が分かれば,NV.exeから起動されたかどうかに関わらず,外部モジュールは NV.exeにデータを送信することができるはずである. 起動時のコマンドライン引数以外に,これらのパラメータを取得する方法を検討した.

ウィンドウハンドルと 計測開始時刻の取得

起動用ダミープログラム direnf.txt に記述し,

取得したコマンドライン引数を他の外部モジュールに渡して動的に起動する方法や,起動時引数の情報をファイルに出力し,外部モジュール起動時にそのファイルを参照する方法等を考えた.いずれも起動時引数を取得するためだけに,プログラムを作成・動作させる必要がある.より効率的な方法を検討しているとき,タスクマネージャでの実行プロセスのチェック画面からヒントを得ることができた.タスクマネージャは,表示オプションで,コマンドラインを表示することができる.(図 3)

図3の関連する部分を抜粋すると,コマンドラインにウィンドウハンドルと計測開始時刻が指定されているのを確認できる.

```
"C:\forall paperChart\forall BIN\forall monitors\forall dl.exe" \text{hwnd=00060314} \text{ edit=n start=1543197869} \text{"port=COM1;"} \text{"C:\forall paperChart\forall BIN\forall monitors\forall tp.exe" \text{hwnd=00060314} \text{ edit=n start=1543197869} \text{"geom=-;"}
```

"C:\frac{\partial Paper Chart\frac{\partial Partial Pa

タスクマネージャが,実行中プロセスのコマンドラインを表示できるのであれば,Windows API に各プロセスのコマンドラインを取得する関数があるはずで,C#では,次の $1) \sim 3)$ のステップで必要な情報を取得することが可能である.

- 1) System.Management.ManagementClass("Win32_Process").GetInstances() から,プロセス一覧を取得.
- 2) それぞれのプロセスから GetPropertyValue("CommandLine") でコマンドラインオブジェクトを取得.
- 3) コマンドラインを文字列に変換し, "hwnd=", "start="文字列を検索し,該当するデータが見つかった場合,その値を起動時引数として扱う. 各プログラムの関係を図4に示す.

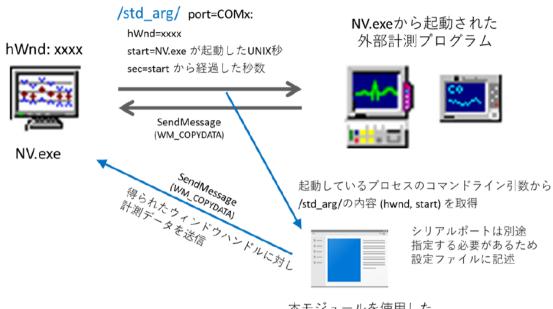
汎用モジュールプログラム PpcCtrl.dll について

プログラム作成には Microsoft Visual Studio 2013 community C#を使用した.汎用性を考え,以前発表したコンポーネント PpcCtrl.dll に機能を追加する形で作成した.

PpcCtrl.dll を使用した外部モジュールは,起動時にコマンドライン引数が指定されていれば NV.exe からの起動と判断し,外部モジュールは非表示,起動直後からデータ計測を開始する通常動作を行うようにした.

一方,コマンドライン引数の指定がない場合,NV.exeからではなくアプリケーション単独起動と判断し,実行中の他プロセスコマンドライン引数をチェックし,hwndパラメータと startパラメータが指定されているプロセスから起動時情報を取得する仕様とした.

使用するシリアルポートはコマンドラインから 取得することができないため,外部モジュール別



本モジュールを使用した データ収集プログラム

図4.外部モジュール動作時のイメージ

に設定ファイルを用意し,単独起動時のシリアル ポートを指定するようにした . (図 5) 単独起動し た外部モジュールは,画面を表示した状態で起動 するようにし,モニター開始,モニター終了,モ ジュール終了は NV.exe と独立して手動で行うよ うにした.

結果ならびに考察

本モジュールを使用した外部モジュールは, NV.exe を起動した後で実行することが可能となっ た.麻酔記録途中で外部モニターが必要となった 場合でも、dircnf.txt ファイルの変更や NV.exe の 再起動を行うことなく,機器の追加を行うことが できるようになった.

個々の外部モジュールごとに設定ファイルを持 ち,設定ファイル内にシリアルポートを記載する ため,複数の外部モジュールで同一のシリアルポー トを指定することも可能で,これらの機器を同時 使用することはできないが,それぞれのモジュー(いている場合でも,設定ファイルに指定されたポ

ルプログラムを独起動することで、シリアルポー トを切り替えて使用することが可能となった.

本モジュールプログラムは, NV.exe が起動す る外部モジュールのコマンドライン引数から必 要な情報を取得するため, direnf.txt に記述され NV.exe から起動された外部モジュールが必ず必 要である.しかし,通常使用において,生体情報 モニターだけは NV.exe 動作時に最低限起動させ る必要があるため、起動に必要なパラメータを取 得することは,ほとんどの場合可能である.

設定ファイルに記載した同じシリアルポートを 使い分ける場合, 先に起動された外部モジュール がシリアルポートを占有するため,後で起動され た外部モジュールはシリアルポートオープンエ ラーのため,起動に失敗する.

また,指定されたシリアルポートに接続されて いるモニター機器と,起動するモジュールプログ ラムが正しい組み合わせかどうか利用者の責任で 使用する必要がある.複数のシリアルポートが空

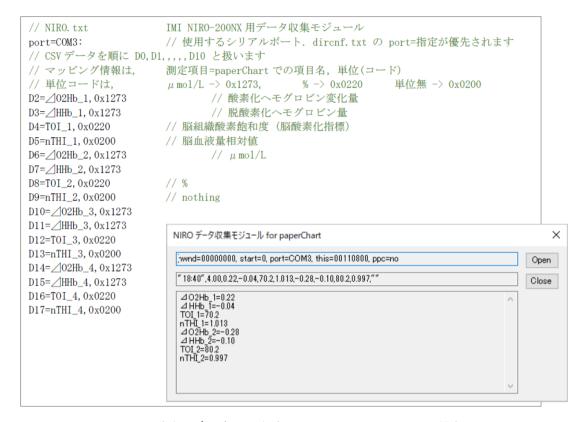


図 5. 実際のプログラムと設定ファイル (NIRO-200NX の場合)

ファイルの書き換えが必要となる.

デモ機や使用頻度が少ないモニター機器の場合 には,切り替えて接続することができるため,利 用時のストレスは軽減する.

原稿執筆時対応している外部モジュールは、 マシモジャパン株式会社:Root+Sedline+O3. メリットメディカル・ジャパン株式会社: LiDCO, アイ・エム・アイ株式会社: TOF-cuff, NIRO , テルモ株式会社: TE-332/352/371 , TE-SS800N/830N/830T/835N/835T,およびバイタ ルデータの手入力用プログラム VINP.exe であ る.今後開発する外部モジュールは,本機能を搭 載した PpcCtrl.dll 対応とする予定である.

まとめ

本モジュールの使用により, NV.exe 起動後に 外部モジュールを実行することができるため,pa-

ートしか使用できないため、場合によっては設定 perChart で麻酔記録を開始した後に、モニター 機器を追加することが可能となった.また,本モ ジュールを使用する外部モジュールは,同時使用 しない場合に複数機器で同一のシリアルポートを 使い分けることが可能となった.

> 本モジュール及び,外部機器用モジュールは, paperChart.net に公開する予定である.

参考文献

- 1. 斎藤智彦. paperChart の遺志と周術期 IT の未来 を考える - 開発者として何ができるか - . 麻酔・集 中治療とテクノロジー 2012, 京都: 北斗プリント; p.41-48, 2013.
- 2. 斎藤智彦. 自動麻酔記録ソフトウェア paperChart 対応シリンジポンプデータ送信プログラムの作成. 麻酔・集中治療とテクノロジー 2016, 京都: 北斗 プリント; p.41-48, 2017.
- 3. 斎藤智彦 . paperChart にテキスト・バイナリデー タを送信するための.net コンポーネントの作成.麻 酔・集中治療とテクノロジー 2018, 京都:北斗プ リント; p.14-20, 2018.

ABSTRACT

Creating a dynamic link library to use multiple monitor devices for the paperChart

Tomohiko Saito

To use an external monitor device with paperChart, we need to specify the module program and serial port in the configuration file (dircnf.txt). NV.exe reads dircnf.txt at startup, starts the necessary modules sequentially, and each module waits on the specified serial port. To use infrequently used monitor devices, it is necessary to rewrite the configuration file and restart NV.exe every time. We created a dynamic link library for switching a limited number of serial ports between multiple monitor

devices, and incorporated it into PpcCtrl.dll, which was presented at this Society, and improved it for general use. We can use Masimo Co., Ltd. Root+Sedline+O3, Merit Medical Co., Ltd. LiDCO, IMI Co., Ltd. TOF-cuff, NIRO, Terumo Co., Ltd. TE-332/351/371, TE-SS800N/830N/830T/835N/835T, and VINP.exe (manual input program for vital data) with this library.

Key word:

paperChart, monitor devices, dynamic link library, serial port

Japan Organization of Occupational Health and Safety: Okayama Rosai Hospital, Okayama, 702-8055

人体の血管内血流は螺旋状に回転して流れる 横山博俊

はじめに

平成 9 年 7 月 30 日の ANESTHESIA ANTENNA(諏訪邦夫先生監修) に「人体の血管内血流は螺旋状に回転して流れる」と題し,1996 年出版のクリニカルサイエンス誌のある論文が紹介された.この論文で,人体の血流は大動脈内で中枢側から末梢側を見て時計方向に螺旋状回転し,右大腿動脈と左大腿動脈に分かれる分岐において螺旋状回転の向きに3種類の組み合わせが発生すると報告された.このなかで計測対象になった健康な男子11 例中,血流の螺旋状回転方向が,

1) 右大腿動脈:時計回転 左大腿動脈:反時計回 転4例,2) 右大腿動脈:反時計回転 左大腿動 脈:時計回転2例,3) 右大腿動脈:時計回転 左大腿動脈:時計回転5例の3種類に分かれ,左 右とも反時計回転の症例はなかったと報告されて いる.この奇妙な現象は数値シミュレーションに よって再現可能か,検討したので報告する.

方 法

Ubuntu 17.10 上で,QtCreater4.31 (Qt5.91 GCC6.4.0)を使用し,C++にてプログラムを作成した.グラフィックライブラリには OpenGLを使用した.血管壁には非線形弾性を設定し,大動脈弁からの血液の拍出によって非線形圧波動が伝搬するという前提をとる.今回行われる数値シミュレーションは,これまで私が述べてきた循環動態理論に基づいて行った.したがって,血管壁運動によって生じる空間変動によって流体粒子が移動し,流体粒子はハミルトンの最小作用の原理に従って,空間内で運動エネルギーを最も消費しない経路をとる.この理論にしたがって分岐部における血流を算出し,クリニカルサイエンス誌の結果と照合することによって,理論と実際の現象との整合性を検証した.

コンピュータによる数値シミュレーションでは、 大動脈から2つに分岐した血管系を想定して行い. 血管壁は非線形格子による計算を行った.伸びと 応力が線形の場合,応力をFとし,伸びをxとす ると、F = kx が線形関係で、 $F = k(x + ax^2)$ の関 係が非線形関係であり,ここでは非線形関係を採 用する,非線形格子は非線形バネが連結したもの であり,非線形格子から非線形偏微分方程式の形 になる運動方程式をたて, 非線形微差分方程式に 変換し , 数値シミュレーションを行った . 大動脈 基部から発射された圧波動が血管壁を伝搬し,そ れによって生じる空間変動にしたがって血管壁内 の流体粒子は運動する.実際の物理現象では,血 管壁の運動と血管内の流体粒子の運動は同時に発 生するが,運動の様態は血管壁が決定し,流体粒 子はそれに追従しているという過程で計算が行わ れる.この場合,血管内の流体粒子の運動は,運 動エネルギーの消失を可能な限り小さくする経路 が選択される、これはハミルトンの最小作用の原 理による、解析力学では流体粒子の運動を粒子全 体の集団で計算することによって,流体粒子全体 が粘性による運動エネルギーの消耗が最も少ない 経路を選択することができる.したがって,数値 シミュレーションでは, ハミルトンの最小作用の 原理にしたがって流体粒子の運動は算出される.

結 果

数値シミュレーションでは,血管を伝搬する波動は,先頭にあたる波面は軸に対して傾斜しており,波面を構成する流体粒子の圧力値は同一である(図1、図2、図3).波面のなかで最も先端にあたる部分が血管のどの部分に最初に入るかによって,血管内の螺旋状回転は3種類のバリエーションをとった.大動脈基部から末梢側をみると,血流は時計方向の螺旋状回転を行い,分岐部におい



図 1 トーラスモデルに圧波動の伝搬が開始 された.9時の位置が大動脈弁となる.

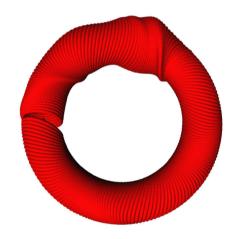


図2 圧力波動は螺旋状に壁を伝搬する.血管 を拡張させる膨大部分は傾いており,傾いて いる波面の最も進行している先端部分は回転 しながら進行する.

て図 4 で示す C に先端部分が侵入すれば,1)右 大腿動脈:時計回転 左大腿動脈:反時計回転, 図 4 において B に先端部分が侵入すれば, 2) 右 大腿動脈:反時計回転 左大腿動脈:時計回転, 図 4 において A に先端部分が真有すれば, 3) 右 大腿動脈:時計回転 左大腿動脈:時計回転の3 種類に分かれた(図5、図6).右大腿動脈,左大 象こそが人体における血流の特徴を表現する現象 腿動脈ともに反時計回転はなかった.この結果は、だと考えた.この現象は工学的流体力学では説明 クリニカルサイエンス誌の論文にある3通りの場 合分けと合致し,11 例中1)4例(36.4%),2)2例 機序があるなら,それこそが人体の循環動態の本

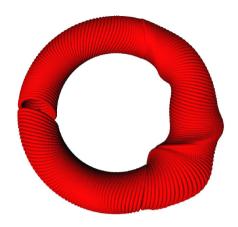


図3 螺旋状に拡張した膨大部分は壁の形状 を幾何学的に回転させながら進行する.

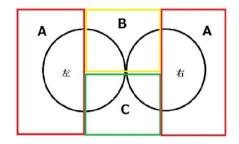


図4 中枢側から分岐部を見た図. A, B, C の三つの分画のうち,どの分画に波動の先端 部分が入るかによって,分岐後の螺旋状回転 のパターンが決定される.

(18.2%),3)5例(45.4%)であり,理論的発生率 1)25 % , 2)25 % , 3)50 % と比較するとほぼー 致する.

考察

平成9年7月30日の ANESTHESIA AN-TENNA(諏訪邦夫先生監修) に「人体の血管内血 流は螺旋状に回転して流れる」としてクリニカル サイエンス誌の論文が紹介されたが, 諏訪先生は 分岐部の血流について,不思議に思っておられた ようである.しかし,私はこの論文の分岐部の現 することができないため、この現象を再現できる

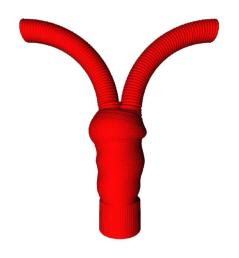


図 5 分岐モデルに圧波動の伝搬が侵入する. 侵入する部位によって左右の分岐部の螺旋状 回転が決定される.

質であろう.

血流の空間分布は簡単に測定できない難しい問題である.論文では,大動脈における大動脈弁側から末梢側を見たとき,血管内に時計方向の螺旋状回転が存在し,しかもその螺旋状回転する血流が大腿における分岐部で3種類のパターンに分かれると報告されている.螺旋の回転ですら説明は難しいが,さらに分岐部において3種類のパターンに分かれる.しかもこの螺旋状回転は安定していたと報告されている.人体の血管において螺旋状回転の報告はあるが,広く認められるにはいたっていない.血管内の血流が螺旋状回転し,かつ分岐部において3種類のパターンをとる合理的な説明は可能なのだろうか.

今回の数値シミュレーションは,これまで私が報告してきた血管壁の非線形弾性に基づく非線形波動が血行動態の要であり,血管内の流体粒子は粒子群を集団的に計算可能なラグランジュ形式の解析力学によって行われるという理論に基づく.この理論では,動脈血流は安定した螺旋状回転を呈する.これは圧波動によって発生した空間の紡錘部分が螺旋幾何学的変形によって末梢に伝搬し,同時に血管内の流体粒子を螺旋状回転させながら末梢側へ伝搬する.血管壁の非線形弾性を非線形

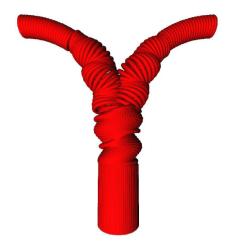


図 6 右は時計方向回転 左は反時計方向回転

格子によって数学的に表現することによって,血 管壁に非線形波動が伝搬する現象が得られる.非 線形波動では,血管の非線形弾性が均一ならば, 形が変化しない波動が末梢側へ一定速度で伝搬す る.動脈壁では血管壁を圧力で膨らんだ膨大部分 が末梢側へ一定束で伝搬することになり,この膨 大部分は血管壁を螺旋状回転しながら伝播し,動 脈血流はこの膨大部分の幾何学的変形に依存する. 非線形波動が動脈を伝搬する場合,血管軸方向と 円周方向に伸展した膨大部分が生じる.この膨大 部分の先端と終端は本来の血管軸を進展させず、 螺旋に回旋した軸によって一定の弯曲が生じる. これによって,軸方向の伸展が血管系全体ではな く,部分的に屈曲することによって,血管系全体 を軸方向に伸展させていない.軸方向の伸展は血 管軸の螺旋回旋を発生させている,軸方向の螺旋 回旋には時計方向回旋と反時計方向回旋の 2 種 類が存在するが, どちらかが選択されなければな らない、生体の心臓では,大動脈基部から末梢側 をみて,時計方向の螺旋回旋が選択されている. これは,左室が2重の螺旋構造からなる心筋から 構成されており、厚みのある左心室心筋の運動に よって大動脈基部の螺旋運動が安定して生じてお り,それによって時計方向回転の螺旋回旋が大動 脈基部から安定した状態で発射されている.更に

補足するなら,心臓における大動脈弁の位置と心 臓の解剖学的特異性についても言及しなければな らない.大動脈弁は心臓のほぼ中央に位置する. さらに重要なことに心臓の4つの弁は繊維性骨格 によって強靭に結合されている.心臓の繊維性骨 格には心臓のすべての心筋が起始を持っており、 大動脈弁はその中央に位置するので,心臓全体の 心筋運動の影響を受ける. 大動脈弁は大動脈基部 を通して大動脈と結合しているから,心臓の繊維 性骨格は大動脈弁を介して大動脈にぶら下がって おり,2重の螺旋構造から構成される左心室の心 筋によって収縮期に右回転,即ち,大動脈弁から 末梢側をみて時計方向の回旋運動を行っている. つまりこの回旋運動は大動脈を中心において行わ れることが,大動脈弁から圧力波動が発射される 際に,大動脈に直接的に時計方向回転が加わる原 因であり、これによって圧力波動の安定した時計 方向の螺旋状回転運動が形成される.

軸方向の螺旋回旋と円周方向の伸展によって, 血管には特殊な空間が発生し,この部分が螺旋に 幾何学的に回転することによって,螺旋状回転す る血流を作り出す.また,血管壁の非線形弾性が 作り出す空間が血管内の流体粒子を運動させるが, 前提として血液の微小な圧縮性が必要である.こ の圧縮性によって,血管内の流体粒子は血管壁の 幾何学的変形に対して完全に追随可能となる.流 体の圧縮性は非常に小さく,かつ非線形性を持っ ている.つまり,圧力が高くなればなるほど圧縮 率は小さくなる.

大動脈壁が内部圧力によって軸方向と円周方向に膨張した部分が螺旋状回転し,内部の流体粒子(血液)がハミルトンの最小作用の原理に従って螺旋状回転する.ハミルトンの最小作用の原理はラグランジュ形式の解析力学において作用積分の停留値が0となる経路が選択されるというものである.作用積分は,運動エネルギーからポテンシャルエネルギーを減じたものを全経路において積分したものである.動脈系の流体粒子には圧縮性は存在するが,非常に小さいため無視することがで

きる、実際の流体粒子では、周りの流体粒子間の 相互位置を可能な限り変更しない,その結果,粘性 摩擦による運動エネルギー消耗を最小値にする経 路が選択される、解析力学では、始点と終点が決 定されている場面で,運動エネルギーの消耗が最 小となる経路を選択すると説明される.しかし, 動脈系では圧力値毎の層を形成する流体粒子の全 体的運動が解析対象となり,血管腔という限られ た空間であるために運動の可能範囲が小さく,八 ミルトンの最小作用の原理によって流体粒子の運 動を始点のみから終点を算出することが可能であ る.ニュートン力学では質点の運動を計算の対象 とするが,ラグランジュ力学では流体粒子全体を 同時に計算対象とするため,系全体の流体粒子の 運動を算出することが可能になるのである.逆に 言えば,系全体を一度に計算できるからこそ,動 脈系においては始点から終点を求めることができ るといえる.ラグランジュ力学で系全体がひとま とめにできるということは,動脈系の流体粒子の 運動が線形な群からなる性質の良いものだという ことを反映している.圧力値が等しい波面を層と して定義すれば,層を形成する流体粒子はそれぞ れ相互関係を変化させずに,運動する.したがっ て,圧力値の等しい層をそれぞれ一単位として運 動の計算をすることが可能になる.

動脈血流がどのような物理的機序によって構成されているのかは非常に重要な問題である.クリニカルサイエンス誌の論文の結果が真実なら,動脈系の血行動態の理論は,その結果を説明できなければならない.螺旋状回転の分岐部における組み合わせは複雑であり,従来の循環動態学の理論である圧波の反射現象では説明すること難しいように思われる.圧波の反射説では,動脈圧波動が末梢へ伝搬するにつれて収縮期圧が上昇ずる理由を順行性に伝搬する波動と逆行性に伝搬する理由を順行性に伝搬する波動と逆行性に伝搬するフス誌に掲載された論文の結果を,私が考える物理的機序で説明できるかどうかがこの論文の主目的である.この理論は,動脈壁の非線形弾性によ

り動脈の内腔に螺旋の膨張した空間が形成され、 その運動にしたがって血管内の流体粒子が追従す るというものである.動脈壁弾性は非線形の弾性 を持っており,伸びた長さに応力が比例するので はなく, 非線形関係を持っている, このような非 線形弾性を持っているバネを連続して連ねたもの を非線形格子と呼ぶ、非線形性が均一ならば非線 形格子を伝搬する波動は,波形の大きさが変化せ ずに伝搬する、血管壁は軸方向と円周方向にそれ ぞれ非線形弾性を有している.また,血管内に波 動が伝搬する場合,血管は内圧によって血管軸方 向と円周方向の2方向に伸展する.血管軸方向に 伸展する場合,直線状に伸展すると,最初に波動 が非線形格子に伝搬した時点で無限遠部分の伸展 が必要になり,運動の伝搬速度が無限大になるた め,血管系全体の直線状伸展は現実には起こらな い. したがって血管軸方向の伸展は部分的湾曲が 必要になる.血管軸方向の安定でかつ均一な伸展 は螺旋状変形のみしか存在しない.

動脈壁内の血液は壁の運動と同期して,血管内 を運動するがその場合,血液は血管内を血管壁の 膨張部分が血管壁に対して螺旋状回転するのに合 わせて,血液も螺旋状回転しながら流れる.血管 内の血液は血管壁の膨張部分にしたがって,ハミ ルトンの最小作用の原理によって,最も運動エネ ルギーを失わない経路を選択する. ニュートン力 学ではひとつひとつの質点に焦点を合わせて計算 するが,解析力学では流体粒子全体をまとめて計 算することが可能になる.最も運動エネルギーを 消費しない経路とは,乱流を起こさない線形な流 れだから,動脈内の流体粒子は集団的に解析力学 にしたがって,線形な螺旋状回転の運動を行う. 線形な流れとは,隣り合う流体粒子同士の位置関 係の変化を最小限にし,血液粘性による運動エネ ルギー消耗を可能な範囲で避ける経路のことを意 味する.このために,血液は血管内を血管の膨張 部分の幾何学的螺旋状回転運動に合致し,螺旋に 流れる.

動脈血流は血管に沿って伝搬する幾何学的な膨

大部の運動によって誘導されるから,幾何学的運 動を血管壁にマッピングすれば,それは血管内の 血流を示すことになる.血管壁には軸が本来の軸 に対して螺旋状回転する軸にしたがって進行する 波動があり、そのため、斜めに傾いた波面が血管壁 を進行方向に対して斜めに回転するように進行す る.血管壁を伝搬する波面には一番先行している 部分が存在するので, 先行している部分がどのよ うに分岐部に入るかによって3種類の血流パター ンが発生する.図4のA部分に入れば,左右の 血管ともに時計方向回転になるが,図4のB部分 に入れば,右は反時計方向回転だが,左は時計方 向回転となる.また,図4のC部分に入れば,右 は時計方向回転,左は反時計方向回転となる,こ のような仕組みで,分岐する前の大動脈の血流が 時計方向の螺旋状回転である限り,左右とも反時 計方向回転になる選択肢は存在しない,どの部分 に波面の先端部分が侵入しても,両側反時計方向 は生じえないためである、波面の最先端部分が分 岐部のどこに入るのかが,確率的に均等であるな ら, A部分は50%, B部分, C部分はそれぞれ25 %ずつとなる.論文では総症例数が11例と少な いため,理論的発生率と同値ではないが,理論か ら予測される数値に非常に近い値を示している.

非線形波動では,動脈壁の非線形弾性が均一ならば,波形は変化せず末梢へ伝搬する.動脈壁の非線形弾性における非線形性が末梢へ向かって徐々に増加するなら,動脈圧波形の収縮期圧は徐々に増加する.したがって,非線形波動による波動の伝搬では,一方向に進行する波動のみで波形の変化を説明することが可能である.順行性に伝搬する波動と逆行性に伝搬する圧波の合成を考慮しなければならない従来の圧波の反射説とは異なる.

非線形波動に従えば,圧力波動は大動脈基部から発射して一方向にのみ伝搬しており,圧力波動の変形は途中の血管弾性の変化によって生じているのであって,圧力波動の反射によって生じているのではないと考えることができる.非線形波動による血流の計算には動脈壁弾性および左心室運

動の詳細な情報が必要になるので,実際の動脈血 流を計算することは難しいが, 非線形波動という 考えを取り入れることで,大動脈内血流の安定し た螺旋状回転が説明可能になる, 非線形波動によ る説明では圧力波の伝搬している部分は螺旋状に 回旋している軸にしたがって膨張している、波面 を形成する層は圧力値が同一である. 先端の波面 は従来の血管軸に対して傾斜しているため,血管 軸に対して最も先行している部分が波面に存在す る. 最先端部分は血管軸に対して回転しながら進 行していく.波面の先端部分が分岐部のどこに入 るかによって、3種類の螺旋状回転が発生する、 螺旋の膨張部分が分岐部に入るにつれて,どのよ うな幾何学的な変形を起こすかという点が最も重 要である,動脈系の流れは幾何学的な構造を強く 持っている数学的流れである.

大動脈から左右の大腿動脈に分岐する際に,波面の先端部分がどこに入るかによって,分岐部の螺旋状回転の場合分けが決定される.結果的に,大動脈壁に螺旋状回転が伝搬することによって,血流が螺旋状回転するという考え方で,クリニカルサイエンス誌に報告された結果を説明することができた.クリニカルサイエンス誌の結果は寺がに見えるが,その結果は非線形波動による幾何学的な流れによって明解に説明可能である.大動脈壁の非線形弾性にて螺旋に圧波動が伝搬し,それによる幾何学的変形が血流を誘導するという考えは,クリニカルサイエンス誌の結果が真実ならば,その信憑性が高められたと考えられる.

従来の血行動態学は圧波の反射説である.しかしこの説によれば,大動脈内で安定した螺旋状回転血流が発生することが説明できないし,分岐部において螺旋血流が3パターンに分かれることも説明できない.圧波の反射説は,教科書に必ず取り上げられているが,私には正しい考え方だとは思えない.血流の詳細について考慮する必要性がないため,動脈血流の問題が検討されることは少ないようである.

同じことは、天動説と地動説についてもいえる. 直されなければならない.

日常経験する範囲内で天動説を否定する情報を見つけることは難しい.天体を精密に計測すると,天動説では説明が難しい事象が発見される.知識として天動説が誤っており,地動説が正しいことを知っているが,観察できる事象で天動説を否定し,地動説が正しいと証明することは困難である.ただし,人工衛星を打ち上げる場合には,地球の自転と公転を考慮しなければならない.

動脈系の血流がどのように流れていようが,日 常的な臨床において考慮されることは少ないが、 全置換型人工心臓を作るなら,正しい血行動態学 に基づいていなければならない. 大動脈血流が螺 旋状回転していなければならない理由が存在する なら,全置換型人工心臓は拍動型で,かつ大動脈 基部から安定した螺旋状回転する血流を送り出さ なければならない. わずか 250g~300g 程度の臓 器が絶え間なく水の粘性の3~4倍の血液を安静 時毎分5リットル,あるいはそれ以上を枝分かれ する動脈系に送り込むことは通常の工学的流体力 学の常識では非常に不思議な現象だといえる.教 科書的な圧波の反射説では,螺旋状回転する血流 は説明できないように思われれるが,この説に基 づいた論文は数万編以上存在する.また,通常の 臨床で,動脈の血行動態学の詳細が問題になるこ とはないように思われるし,数学的に難解な非線 形圧波動による説明が受け入れられる余地は少な い.しかし,全置換型人工心臓を作るときには, 非線形圧波動による概念を取り入れる必要があ る.もしそのような全置換型人工心臓が造られれ ば,将来的には血行動態学が変化するかも知れな い.全置換型人工心臓を作成する場合には,非線 形圧波動による血行動態学の理解が絶対的に必要 である.

私が主張する動脈系の血行動態理論は,クリニカルサイエンス誌に報告された奇妙な現象を無理なく再現できた.クリニカルサイエンス誌に報告された結果が真実ならば,従来の血行動態学は見直されなければならない

結 語

非線形波動による血行動態学に基づいた数値シ ミュレーションはクリニカルサイエンス誌の論文 の血管分岐部の現象を再現した.

参考文献

- P.A.Stonebridge, P.R.Hoskins, P.L.Allan and J.F.F.Belch: Spiral laminar flow in vivo (1996) 91,17-21 Clinical Science
- V.I. アーノルド: 古典力学の数学的方法 1980 , 東京 , 岩波書店
- 山本義隆,中村孔一:解析力学,1998,東京,朝倉書店
- 4. 渡辺慎介:ソリトン物理入門 1985,東京,培風館
- 5. 高橋亮一,棚町芳弘:差分法 1991,東京,培風館
- 6. 山崎郭滋:偏微分方程式の数値解法入門 1993,東京,森北出版
- 7. 横山博俊: 左心室-大動脈血流モデル 日本麻酔・集中治療とテクノロジー 2011 96-104, 2012
- 8. 横山博俊: 心第血管系の数値流体力学の問題点 日本麻酔・集中治療とテクノロジー 2012 56-67,2013
- 9. 横山博俊: 非標準的圧縮性流体解析による心第血管 系の数値流体力学 日本麻酔・集中治療とテクノロ ジー 2013 18-26 2015
- 10. 横山博俊: ラグランジュ力学 (解析力学) の動脈系 への適用,及び微分可能多様体の,動脈壁と動脈 内腔への対応 日本麻酔・集中治療とテクノロジー 2014 53-62 2016
- 11. 横山博俊:トーラスで計算する弾性管内拍動流 -空間変動によって受動的に運動する流体粒子-日本麻酔・集中治療とテクノロジー 2015 55-64 2016
- 12. 横山博俊:トポロジーによる動脈内流体粒子の軌 跡の算出 日本麻酔・集中治療とテクノロジー 2016 30-34 2017
- 13. 横山博俊: ハミルトンの最小作用の原理による動脈の血行動態 日本麻酔・集中治療とテクノロジー 2017 40-47 2018

ABSTRACT

Spiral laminar flow in vivo Hirotoshi Yokoyama

Spiral laminar flow in vivo was reported in the article of Clinical Science (1996)91,17-21. Flow

patterns were sampled 11 healthy male volunteers. Stable rotational flow was observed in all subject. Spiral laminar flow in an aorta is divided into 3 kinds in the branch part. I report whether this strange phenomenon can reappear by the theory of the non-linear elasticity of vascular wall.

[method]

I set the non-linear elasticity to a vascular wall and thereby take the premise that a non-linear wave propagates. The numerical simulation depended on a program by the C++ in personal computer.

[result]

When look at the peripheral side from aortic valves, the bloodstream performs the spiral rotation of the clock direction. The following 3 kinds results were provided by numerical computation. This result adapts to the article of Clinical Science.

- 1) right leg clockwise rotation, left leg anticlockwise rotation,
- 2) right leg anti-clockwise rotation , left leg clockwise rotation
- 3) right leg clockwise rotation , left leg clockwise rotation

[discussion]

Artery produces fusiform geometric transformation by the pressure wave by the non-linear wave and turns the fluid particle in the blood vessel in a spiral by this spindle part turning in a spiral. It is based on a principle of the smallest action of Hamilton in the analysis dynamics that the fluid particle in the blood vessel turns in a spiral. The artery bloodstream greatly depends on the geometric transformation of the blood vessel cavity by the non-linear wave.

[conclusion]

The theory by the non-linear wave has the consistency of the article of Clinical Science.

Kanazawa medical center Department of anesthesia

CT 画像からの気道レプリカ作成 逆転の発想

岩瀬良範 , 西澤秀哉 , 長坂浩

要旨

対象と方法

我々は 3D プリンタを用いて CT 画像から上気 道レプリカを作成し,気道確保の訓練や研究に使用し得るか検討してきた.頭頚部および上気道 の表面を STL ファイルとして $segmentation^1$ し,PLA(ポリ乳酸樹脂) やゴム系軟質素材での 3D プリントと気管挿管には成功したが,たとえゴム系素材を使用してもレプリカは柔軟性に乏しく,実用性は諦めざるを得なかった 1).今回,製作手法を全面的に見直し,比較的良好なレプリカの作成に成功した.

背景と着想

CT 画像から顔面および気道の 3D プリンタ用表面モデルの作製は,当初 Macintosh 用の Osirixで行っていたが,無償版での取り込み容量の制約に悩んでいたとき Segmentation に特化した ITK-SNAP (www.itksnap.org) に出会い,直感的に理解しやすい Segmentation が行えるようになった2).これで顔面および気道表面の STL ファイルから 3D プリントに成功したが,PLA 素材は通常のプラスチックで柔軟性がない.気管挿管のためには,1.3D プリンタ用の柔軟素材 (Ninjaflex®, Semiflex(R) など)を使用,2.可能な限り薄い表面モデルの作製,などのアプローチを行い,方法2で気管挿管に辛うじて成功したが,とても実用レベルではなかった1).

発想を逆転し,薄型表面モデルの実質側に柔軟素材を注入して,表面のプラスチックを取り除けば,気道モデルができると考えたが,柔軟素材が硬化する前に柔軟素材は表面モデルから漏れ出し失敗した.それならば,空気部分をしっかりとした鋳型にすれば漏出を防げると考えた.

学内規定に従い匿名化した二次利用ファイルと した CT 検査画像 (DICOM) ITK-SNAP に読み込 み,空気部分を segmentaton した【図 1ABC】. こ れを 3D プリンター用言語である STL(Standard Triangulated Language) 形式で出力し, Meshmexer(Autodesk, USA) で検査と修正を行い【図 2】, 3D プリンタ (Scoovo C170: Abee, 横浜) を 用いて PLA 素材で出力した.これにより顔の外 表から気管までの空気部分が固体になる【図3】. これを鋳型として,軟性素材を流し込みゲル化後 【図4A】に取り外すと【図4B.C】, 口, 口腔, 咽 頭,喉頭,上気道が再現される.軟性素材は,グ ミーキャスト(日新レジン:注型用ウレタン樹脂, type-A 硬度 0) および人肌のゲル (エクシール:超 軟質ウレタン造形用樹脂,アスカー硬度 C7),軟 性シリコン.離型剤には無水ワセリンを用いた. また、離型が容易になるように、鋳型はSTL編 集の段階で Meshmixer により分割モデルも作成 した.作成後,AWSにより気管挿管を試みた.

結 果

様々な組み合わせを試行し,それぞれ条件におけるレプリカを作成した【図5】.素材の硬度により喉頭展開の容易さは明らかに異なったが,気管挿管には成功した図6AB】.

考察

度重なる失敗の結果,逆転の発想から「空気を 鋳型にする」ことを思い付き,比較的良好な結果を 得た.レプリカは気道確保の訓練や研究に有用性 が期待し得る.さらに精緻なモデルのためには, 食道の再現にも取り組んでいる.

埼玉医科大学病院麻酔科

 $^{^{1}}$ segmentation: 目的とする組織 , 器官を CT 値に基づいて抽出すること .

参考文献

- 1. 岩瀬良範, 堀越雄太, 長坂 浩ほか: CT 画像から 3D プリントした気道レプリカへの気管挿管. 第65回 日本麻酔科学会学術集会.P01-08-01 2018/5/27 横浜市
- Paul A. Yushkevich, Joseph Piven, Heather Cody Hazlett, Rachel Gimpel Smith, Sean Ho, James C. Gee, and Guido Gerig. User-guided 3D active contour segmentation of anatomical structures: Significantly improved efficiency and reliability. Neuroimage 2006 Jul 1;31(3):1116-28.

ABSTRACT

Development of Replication of upper airway from CT image via airway shaped mold

Yoshinori Iwase, Shuuya Nishizawa and Hiroshi Nagasaka

Replication of upper airway model for airway management from DICOM CT image may be hopeful. We attempted direct replication with ITK-snap, Meshmixer and 3D printer. PLA fabricated hard airway surface model was obtained. However, lack of softness caused difficult handling. Current objective was improving these problems.

[Material and methods]

Open mouth plain CT DICOM images of one of investigator's were loaded into ITK-SNAP(www.itksnap.org) medical segmentation software. Portion of air was segmented and downloaded as STL file for 3D printing. STL files were verified and corrected by Meshmixer(Autodesk, USA). "Air-mold" including face to neck printed by Scoovo C170 3D printer (Abee, Japan). Soft craft materials were used follows; 1). Hitohada Gel (Exseal, Japan), 2). Gummy Cast (Nissin Resin, Japan, 3). Silicon HTV2000 (Modeler's store, Japan) After demolding, tracheal intubation was attempted by Airwayscope(HOYA-Pentax, Japan).

[Result]

Virtually intubation was succeeded in all models. Feasibility of laryngoscopy and intubation were seemed to depend on softness of materials.

[Discussion and conclusion]

Current method might be useful for individual patient airway management from pre-anesthetic CT images, especially in difficult airway susceptible patients.

Department of Anesthesiology, Saitama Medical University Hospital Moroyama, Saitama 350-0495, Japan

郵便番号 350-0495

住所 埼玉県入間郡毛呂山町毛呂本郷 38 電話番号 049-276-1271 FAX 番号 049-276-1271

Email iwase@saitama-med.ac.jp

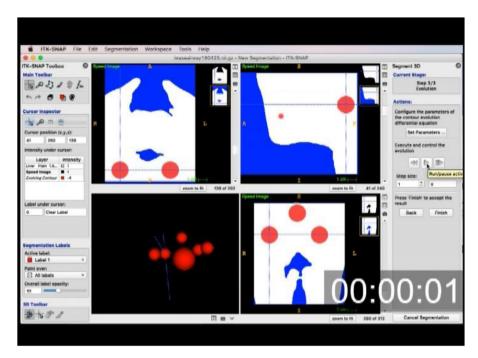


図 1A ITK-SNAP に DICOM 形式の CT 画像を取り込む、範囲の選択と空気と実質部分に分離 (segmentation) する設定を行う、"バブル・カーソル"(ピンク色) を青色部分にかからないようにセットする、左下はバブルカーソルの三次元イメージ、

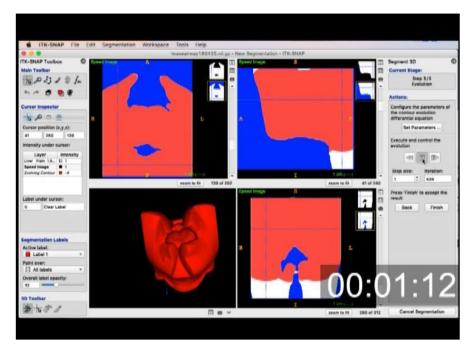


図 1B Segmentation を開始すると , この「泡 (バブル)」は , 青色部分に入らないように膨張する . バブルは膨張し , 融合していく .

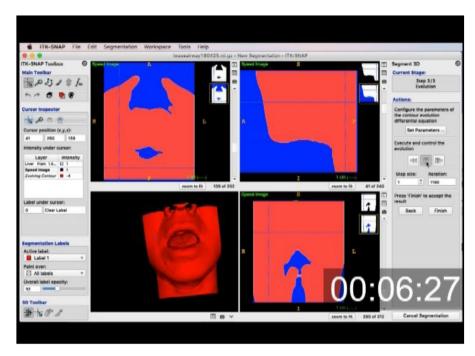


図 1C Segmentation を終了した図 . STL ファイルとして出力する .

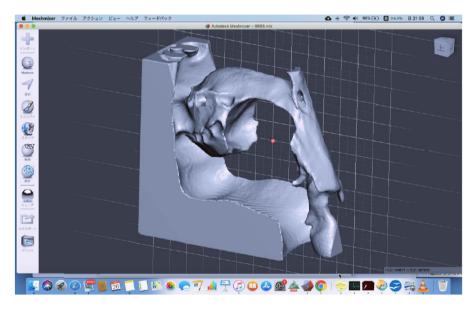


図 2 Meshmixer(Autodesk,USA) に読み込んで STL ファイルを検査および修正する .

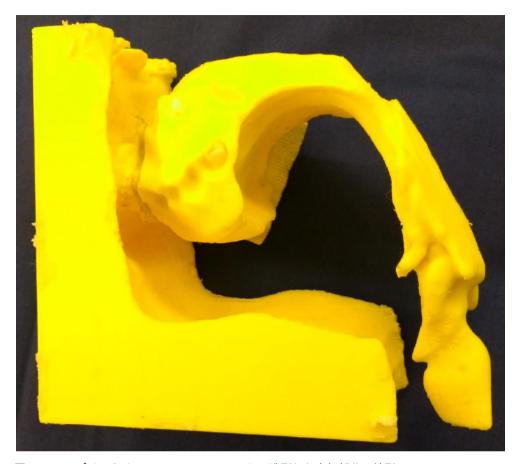


図 3 3D プリンタ (Scoovo C170, Abee) で造形した空気部分の鋳型



図 4A 軟性素材のゲル化 (硬化) 後の状態 . 人肌のゲルの例



図 4B 慎重に離型する.離型を容易にするため口腔内と顔面を別にした.



図 4C 口咽頭・喉頭・気管部分も離型して完成する

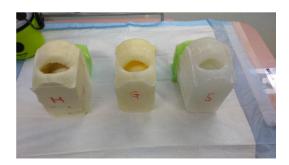


図 5 左から人肌のゲル , グミーキャスト , シリコン によるレプリカ

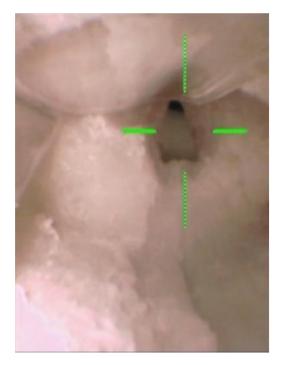


図 6A 人肌のゲルで作成したレプリカの AWS による喉頭展開像

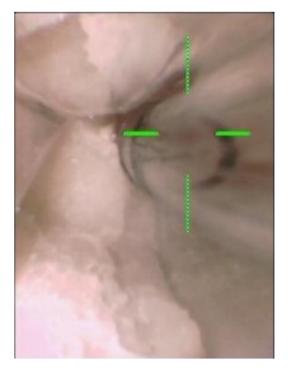


図 6B 同気管挿管像

心肥大で見られるストレイン T 波の発生機序 田中義文

はじめに

ストレイン T 波とは,図 1^1)に示すように,R 波の高電位,J 点低下,下降する ST セグメント,左右非対称の逆転 T 波を示す左室肥大の末期的所見である,また同様の所見は先天性心疾患の右室肥大でも見られる.筆者は当初この J 点低下と下降する ST セグメントを狭心症と同じく心筋酸素欠乏の結果,ATP 依存性 K チャンネルの開口による静止電位の低下と説明していたが 2),それは間違いで,心外膜側細胞外電位の脱分極時高電位の結果であると結論づけた.

方法と結果

1) 体表心電図の測定原理

図 2 に示すように, 第 II 誘導の右肩(R 極)は 心腔内心内膜側細胞外電位を検出し,心電計の-端子に接続される. 左脚 (F 極) は心外膜側細胞 外電位を検出し,心電計の+端子に接続される. 各電極で得られる細胞外電位は心筋活動電位の反 転波形であるから,心電計の入力端子の接続を逆 転すれば,心内膜側心筋活動電位から心外膜側心 筋活動電位の引き算結果が心電図になる.正確に 述べると,ここで測定される心筋活動電位は下図 A に示されるように心筋活動電位が時系列に興奮 し,並列に連なった復号波形であり,全体として は活動電位0相の立上りは鈍くなり,また1相の スパイク波形も鈍磨になる. 下図 B は正常心室, C は左室自由壁の肥大, D は心尖部肥大心筋のイ ラストである.ここから明らかなように正常心筋 に比べて肥大心筋は心内膜面より心外膜側の表面 積が相対的に大きくなる.したがって,心内膜側 より心外膜側電位の方が大きく,また脱分極の伝 播時間が延長することが推定される.

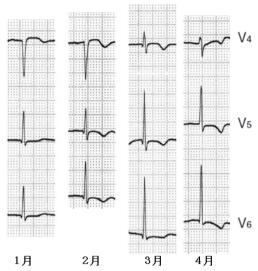


図 1 . 高血圧心不全のストレイン T 波への変化 . 94 才女性 , 高血圧性心不全患者末期の心電図 . わずか数ヵ月で平坦 T 波から反転 T 波 , ついで ST 低下を伴ったストレイン T 波に変化する . 文献 1) より一部引用 .

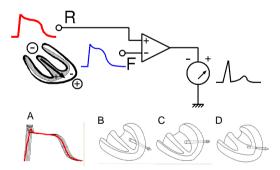


図 2 . 体表心電図測定原理と細胞外電位 . 上図:体表心電図は右肩 (R) で心内膜腔の細胞外電位 , 左脚 (F) で心外膜側細胞外電位を検出し , その電位差を測定する . 図は細胞外電位を反転 , 同時に心電計の入力端子をも反転して表示している . 下図:A に細胞外電位は各心筋の興奮波形の平均値を赤太線で示す . B, C, D は正常心室 , 左室自由壁の肥大 , 心尖部肥大のイラスト .

2) シミュレーション

心室興奮は房室結節, His 束, 左右脚を通過し

心内膜側 Perkinje 繊維を興奮させ、その後近接心 筋を興奮させ,心外膜心筋に伝播する.再分極は 逆に心外膜側心筋より,一般心筋層, Perkinje 繊 維の再分極で終了する.図3は心内膜側細胞外電 位を赤色,心外膜側細胞外電位を黒色で示し,赤 より黒の波形の引き算結果を心電図として上に表 示している.A は正常心電図で,R波,STセグ メント,上向き T波が見える.B は心外膜側波 形をわずかに右に移動するだけで R 波の幅,高 さ共に増大し,T波は平坦化する.Cはさらに心 外膜側波形を右にずらすと R 波の増高と T 波の 逆転が得られた.心肥大は前述のごとく,心外膜 側表面積が増大するので,心外膜側脱分極電位を 増加させると、ST低下を伴って、ストレインT 波になった.シミュレーションプログラムは文献 3) をもちいた。

考察

従来の考えでは,心電図のR波は脱分極した+ の興奮電流が陽極に向かうために心電図で + に振 れ, すべての心筋が脱分極すると興奮電流は消失 するために ST セグメントが形成される. また再 分極波形である T 波は, 再分極する - の興奮電流 が陽極から離れる方向に向かうために陽性 T波に なると説明されてきた4).しかし,心電図計測は 電流計測ではなく、電圧計測であること、また、細 胞膜は脂質二重膜で覆われており非常に絶縁性が 高く, 興奮再分極のメカニズムがイオンチャネル の開閉で行われていることなどから,心筋間の興 奮電流や再分極電流の存在自体が説明できない. したがって,シミュレーションに示されるように, 心内膜側,心外膜側細胞外電位の変化のみで R波 や T 波を説明すると, QRS 幅の延長に伴う R 波 高の増大,陽性 T波から平坦 T波,そして陰性 T 波への移行などの変化が素直に説明できる.

さらに心電図の発生機序を掘り下げると,図4のように解釈できる.Aは正常波形である.赤線は心内膜側細胞外電位,青線は心外膜側細胞外電位で,それぞれ波形を反転表示している.R波

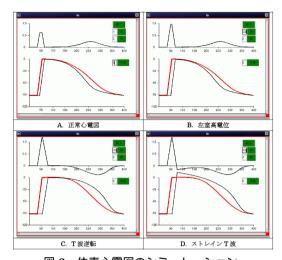


図3.体表心電図のシミュレーション. 心内膜側細胞外電位を赤太線,心外膜側細胞外電位を黒線で示し,その差を心電図として上に表示した.A:正常心電図.B:心外膜側電位をわずかに右に移動するだけでR波高が高くなる.C:さらに右に移動すると,R波増高と共にT波が反転する.その状態で心外膜側電位を高電位にすると,ST低下の

ストレイン T 波がシミュレートできる.

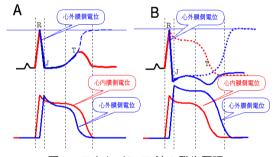


図4.ストレイン T波の発生原理.

図 A は正常心電図を示し,図 B は左心肥大を示す.それぞれ上に心電図波形,下に細胞外電位の反転波形を示し,赤は心内膜側電位,青は心外膜側電位を示す.

は心内膜側の興奮により上向部分が形成され,その興奮が心外膜側に伝播するために青の脱分極が発生し,引き算操作でR波の下向部分が形成される.R波は単純なスパイク波形ではなく,2分画の複合波形である.STセグメントは活動電位2相を反映するもので,心内膜側,心外膜側の電位差が表現される.したがって単純に基線を通過する水平線であるとはかぎらない.T波の上向部分は心外膜側の3相再分極が反映され,引き算電位

が減少するために上向きになる、その後,心内膜 側細胞外電位の3相低下により, T波の下向部分 か形成される.T波もR波と同様に2分画の複合 波形である. そのように考えると, R波, ST セグ メント, T波と分画して心電図をみるよりは, R 波の下向成分,ST セグメント,T波の上向部分が 一塊となった心外膜側細胞外電位の反転波形であ ると認識する方が素直である.心内膜側活動電位 2相の平坦相の区間で,心外膜側細胞外電位の引 き算操作の結果,R波,STセグメント,T波に 区分されているだけである. その見方をストレイ ン T 波に適応すると,図4Bの図になる.心外膜 側細胞外電位は心筋肥大のために高電位になると 共に脱分極時間は延長する.したがって,心内膜 側活動電位 2 相平坦相の間に心外膜側細胞外電位 の引き算操作を行うと ST セグメントの下降, そ して心内膜側電位の3相再分極でさらなる T波 の下向成分が形成され,心外膜側3相再分極でT 波の上向成分が形成される. すなわち反転 T 波の 形成である.一方,良性ST上昇(BER: benign Early Repolarisation) とよばれる心電図所見があ る.これは心機能が正常な成人に多く見られ,左 心容積に対して心室筋が薄くても十分な心収縮力 が出せる状態であることが理解できる. いわば左 心肥大に相対する状態と理解すればよい、

このように、R波の下向成分、STセグメント、T波の上向成分を一塊の波形とする考え方は、心筋梗塞の初期に現れる巨大T波、墓石様波形と呼ばれている巨大R波の波形形成の解釈に都合がよい、図5上図はA、B、C、D、Eの順に墓石様波形に変化する時系列を示しているが、下図太線で示すように心外膜細胞外電位の反転波形をトレースすると、その脱分極電位が低下していく状態がわかる、梗塞の初期状態では冠動脈攣縮のために虚血になり、心外膜側心筋の脱分極電位低下が考えられる。

ST セグメントの上昇下降のまとめを図 6 に示す.静止時での心外膜細胞内電位の上昇は図 A に示す心筋梗塞,下降は図 C における狭心症,また

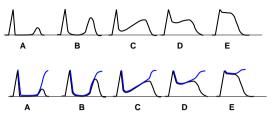


図 5.正常心電図から墓石様波形への変化: 心筋梗塞の初期段階, 冠動脈攣縮では巨大 T 波, ST セグメント上昇, そして墓石様波形に至る.その様子を A,B,C,D,Eの順に示す.下図に R 波の下降部,ST セグメント,T 波の上向部を青線で示すが,心外膜側細胞外電位の反転波形と見れば,これらの分画は一塊のコンポネントとして見ることができる.文献 5) より改編.

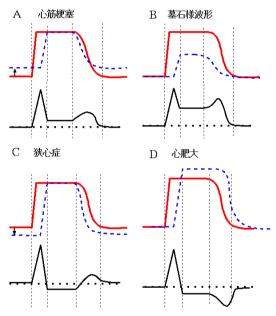


図 6.ST 上昇下降の基本原理.:

図 A は心筋梗塞による心外膜側細胞内電位上昇により, ST 上昇する.図 B は異形狭心症,心筋梗塞の初期に心外膜側細胞内電位の脱分極低下のためにST 上昇する.図 C は心筋虚血による細胞内 ATP低下のために過分極が発生し, ST 低下する.図 D は心外膜側心筋の肥大の結果,表面積増加と興奮伝導遅延が発生し, ST 低下とT 波反転が生じる.

脱分極時では図Bに示す活動電位低下で墓石様波形,これは異形狭心症や心筋梗塞の初期に発生し,図5に解説した.活動電位上昇ではないが,心外膜側表面積増加による細胞外電位の上昇,興奮伝導遅延で発生する図Dの心肥大がある.BERは

図 B に区分される所見だといえる.

おわりに

アイントーフェンが QRS ベクトルについて平均電気軸の概念を提唱して以後,+の心筋興奮電流が心室筋をつらぬき,またマイナスの再分極電流が+極と反対方向に向かうから陽性 T 波が発生するという理論にまで発展してきた.その結果,ST セグメントは電流が流れないから心電図は基線に戻らざるをえない.その考え方では ST 上昇や下降,その他種々の ST 変化の考え方は説明が困難になるなどの弊害が生じ,既存の成書では,この部分は重要な臨床所見にもかかわらず,現象の説明に終始している.本稿に示した心電図の生成メカニズムの考え方は,R 波に上向と下向に 2

分画,T波にも上向と下向に2分画に分けられることを示し,また左心肥大において発生するストレイン T 波に対して,心外膜側細胞外電位の増加と興奮遅延による引き算操作で無理なく説明できる.

引用文献

- 1. 下窪 徹 , 迫田耕一郎: 入院中に心電図所見がストレインパターンに変化した超高齢心不全の 1 例 . 心臓 43:43-48, 2011.
- 2. 田中義文:成り立ちから理解する心電図波形: 心筋の活動電位を読み解く.学研メディカル秀潤社, 2012.
- 3. 田中義文: 心室心電図簡易シミュレーションプログラム. http://www.jsta.net/txt/new-ecg.php
- 4. T wave: https://en.wikipedia.org/wiki/T_wave
- 5. https://www.bmj.com/content/324/7341/831.full

全身麻酔下専門上器具使用時の麻酔回路内 呼吸音モニタリングの有用性 石橋克彦, 北村祐司, 加藤辰一朗, 磯野史朗

背景

近年,小児患者の全身麻酔においても声門上器 具の使用頻度は上昇している.実際,当施設の小 児鼠経ヘルニア手術においても,声門上器具使用 頻度を調査したところ,2007年は9%だったの に対し,2016年は46%であった.声門上器具は 上気道確保器具ではあるが,声門を通過しておらず,挿管に比べ低侵襲である.そのため低刺激で ある利点が生きるため,上気道感染罹患後の上気 道確保において,挿管に比べ声門上器具の方が抜 管後の低酸素イベントが少ないと報告がある¹⁾.

先の鼠経ヘルニア手術に関してはマスク保持での気道管理も麻酔科医の手がふさがってしまうというデメリットからか、当施設での施行頻度は減少している.一方で声門上器具での気道確保は安全になったのかというとそうではない.小児全身麻酔中の重篤な合併症は呼吸器関連が最多であり²⁾、その代表的合併症である喉頭痙攣は声門上器具で、マスク換気での全身麻酔の 6.7 倍の頻度であるという報告もある ³⁾.

そのようななか,声門上器具の安全な使用を目的としたモニタリングの研究は少なく,主に小児麻酔においてモニターの一つとして使用されてきた片耳聴診器も使用頻度は減少してきている.しかし,呼吸音を聞くことで喘息をはじめとする下気道トラブルはもちろんのこと,上気道のトラブルシューティングにも利用できると考え,音というパラメータを捨てるわけにはいかないと考えた.そこで我々は声門上器具の安全性をより高めるため,呼吸音に注目し新たなモニタリングの可能性を探ることとした.

研究手法の検討



図 1. 研究システム 内視鏡による喉頭内の観察:胸壁,頚部, 呼吸回路内の3点での音モニタリング

今回, 呼吸音を拾うにあたってどの部位で集音 するのが最も適切か音響力学の観点から考えるこ ととした. 従来法では胸壁の音を聴診器で聴いて いた. すなわちマイクで集音すると仮定すると胸 壁マイクを設置することと同義であるが,呼吸音 が肺から胸壁に達するまでには空気,肺,軟部組 織,部分によっては骨を経由して胸壁に伝わる, すると音響インピーダンスの異なる媒体ごとに音 響の減弱効果が発生し,最終的に胸壁マイクに達 する音はかなり弱くなっていると考えられる.同 様に頚部に設置したマイクによって拾われる音に 関しても,空気,軟部組織,軟骨など,異なる媒体 が存在する、では一番関与する媒体数が少ないの はどの経路かと考えたところ,空気,空気間,すな わち直接音を拾うことではないかと発想した、そ して検討を重ねた結果,麻酔回路内マイクの設置 が一番効果的と結論づけた.回路内の音を直接拾 うためには人工鼻の CO_2 サンプリンポートに小型 ピンマイクを設置する手法を発案し,クリアに集 音することが可能になった.同時に気道内圧やフ ロー,周波数の解析を可能にするため,PowerLab システム (ADInstruments) を使用した.

仮 説

回路内呼吸音モニタリングは声門上器具使用中 の気道イベントを捉えるのに有用である.

方 法

対象は小児の鼠径ヘルニア,陰嚢水腫の1歳以 上6歳以下で声門上器具を使用した症例とした. 声門上器具は Ambu[®] Aura Gain[®] を使用し,声門 上器具の導管部分に細径の気管支ファイバーを通 し声帯を持続的に可視化した.上述の人工鼻に細 工し小型マイクを差し込んだもので回路内の呼吸 音のモニタリングも可能にした. さらに, 従来呼 吸音を聴取している頚部と胸部にもマイクを設置 して音を拾えるようにした.(図1)スタディで得 られた情報は4分割画面で,生体情報モニター, 声帯のファイバー画像,呼吸音およびフローメー ターからの信号を解析するソフト (パワーラボ)の 画面 , 術野モニター , を記録した (図 2) モニタリ ング中に声門狭窄を起こした症例や,気道狭窄音 を聴取した症例を記録,解析を行った,声門狭窄 の程度に関しては,声帯の角度を測定し,当施設 で Tanaka. A らが行った術前後の気道抵抗の変 化を追った先行研究より,30度以下を狭窄群と設 定した . 4)

結 果

表1に示すように狭窄群4例,非狭窄群7例が 集まり,背景には有意差を認めなかった.狭窄群 と非狭窄群の角度や角度の狭窄率に関しては有意 な差を認めた.音の解析に関しては,中央パワー 周波数を t 検定によって解析したところ,図3に 示すように,回路内のみによって狭窄群と非狭窄 群での周波数に有意な差を認めた.頚部マイク, 胸部マイクでの集音高率に比べ,はるかに回路内 音をモニタリングする方が良質な音が取れ,上気 道の狭窄音がよくわかった.

更に,回路内マイクによって下気道のイベント も拾うことができ,下気道狭窄音も拾えたケース



図 2. モニタリング画面

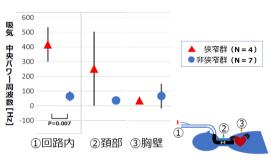


図 3. モニタリングコントローラー

表 1. 集計結果

	狭窄群 (N=4)	非狭窄群 (N=7)	P<0.05			
年齢	$4Y5M \pm 1Y6M$	$4Y2M \pm 1Y5M$				
性別(M/F)	1/3	3/4				
身長 [cm]	102 ± 14	101 ± 11				
体重 [kg]	18 ± 5	17 ± 3				
上気道感染	1	1				
吸気時角度[°]	22 ± 5	34 ± 4	*			
狭窄率 [%] 38 ± 10		5 ± 10	*			
(神窄率 = A - A / A)						

が 1 例あった . その症例において気管支拡張薬 (刺激薬)を患者に投与することによって狭窄音 の改善も確認した .

結 語

回路内音モニタリングは上・下気道のイベントをよく捉えた.軽度の声門狭窄をとらえたのは回路内マイクのみであり,新たなモニタリングの開発の可能性を示した.

引用文献

- 1. Tail AR, et al Anesth Analg. 1998; 86(4):706-11
- 2. Bhananker SM, et al. Anesth Analg. 2007; 105(2):344-50.
- Flick RP, et al. Paediatr Anaesth 2008; 18(4):289-96
- 4. Tanaka. A et.al Anesthesiology 2003; 99:252-8

機械学習により BIS 値を推定する試み 林 和子

はじめに

Scikit-learn project は,データサイエンス共通語である Python プログラム言語で大部分が開発されたオープンソースの機械学習ライブラリを有し,素人にも使用しやすい環境下での効率的な機械学習ツールが提供される.人工ニューラルネットワーク (artificial neural networks: ANN) の概念は,古く 1943 年に提唱されたが,近年,モデルやバックプロパゲーション (誤差逆伝播学習法) 等の訓練アルゴリズム改良と計算処理能の大幅な強化により,急速な進展をみている.今回,Pythonと Scikit-learn を用いて,各種脳波パラメータからニューラルネットワークモデル,及び数種の基本的モデルを用いて BIS 値を予測する試みを施行した.

方 法

1. データ収集

12人の全身麻酔症例の麻酔導入前から覚醒にいたる全身麻酔経過データを対象とした. BIS Quatro Sensor を前額部に装着し, BIS VISTA モニタを用いて, BIS VISTA 内で解析される脳波関連解析値と出力される脳波を, EEG Analyzer (京都府立医科大学麻酔科学教室の佐和貞治教授により開発)を用いて持続的に収集すると同時に,同 EEG Analyzer ソフトウエアにより独自に解析を施行した. それら脳波解析値のうち, BIS モニタ由来の脳波パラメータ 5 種 {① BIS index,② Total power (脳波信号の 0.5-30Hz のパワー),③ EMGlow (筋電図指標としての信号70-110Hzパワー),④ SEF95 (spectral edge frequency <95%),⑤ Suppression Ratio},並びにBIS モニタ出力脳波をEEG Analyzer により持続

的に解析した値 7 種 { 周波数帯域別パワー 5 種 (⑥ 0.5-47 Hz, ⑦ <11Hz, ⑧ 11-20 Hz, ⑨ 20-30Hz, ⑩ 30-50 Hz), ⑪ BetaRatio (log[P(30-47 Hz)/P(11-20 Hz)]), ⑫ SynchFasSlow (log[B(40-47 Hz)/B(0.5-47 Hz)])} の計 12 の脳波解析値データを ,3 秒毎に合計 22767 ポイント得た.これらのデータセットをランダム化後に , 訓練用のデータ75 % (17075 ポイント) と ,テスト用の 25 % (5692 ポイント) に分けた.

2. モデル作成

これらデータのうち BIS index を除く入力特徴量 (前述の脳波解析値 11種) に対して,平均 0,分散 1 にスケール変換する前処理を施行後,訓練用データの前処理後の入力特徴量 11種から BIS 値を参照値として scikit-learn を用いたモデル訓練を行った. 試したモデルは,k-最近傍法アルゴリズム,線形回帰モデル,線形回帰の亜系(Ridge 回帰,Lasso 回帰モデル),更に多層パーセプトロンによるニューラルネットワークモデル (multi-layer perceptron: MLP) である.

k-最近傍法は,最も単純な学習アルゴリズムであり,訓練データセットを格納することでモデルの構築がなされ,新しいデータポイントに対する予測は,訓練セットデータの格納データの中から新規データに一番近い点,つまり最近傍点を k 点見つけて平均することでなされる.

線形モデルは,入力特徴量の線形関数を用いて予測を行う古典的な線形回帰法であり,約100年前より広く実用化されている.線形回帰(通常最小二乗法)では,訓練データにおいて予測値と真の回帰ターゲット値との平均二乗誤差(mean squared error, 予測値と真値との差を二乗したものの平均値)が最小になるように重みパラメータを決定する.線形回帰モデルは,単一の特徴量に対して

は予測が直線になる回帰モデルとして特徴付けられ、特徴量が2つなら予測は平面に、特徴量が多い高次元においては、予測は超平面になる。モデルの複雑さを制御する方法がないことがこのモデルの難点といわれ、複雑度を制御して過剰適合を防ぐための工夫がなされる・標準的線形回帰に代わる最も一般的な線形モデルとして、ridge回帰(ridge regression)がある・リッジ回帰は、L2正即化と呼ばれるモデル制約法を用い、係数絶対値(重み要素)を可能な限り小さくすることで、個々の特徴量が出力に与える影響をなるべく小さくして過剰適合を防ぐ・一方、Lasso回帰はL1正即化と呼ばれ、いくつかの係数を0にすることで特徴量を無視して自動的に特徴量を選択し、過剰適合を防ぐ・

今回, ニューラルネットワークモデルとしては,

多層パーセプトロンによる回帰モデルを用いた.パーセプトロンは,重みとバイアスをパラメータとして導入した入出力を備えたシンプルなアルゴリズムで,単層パーセプトロンが線形領域だけしか表現できないのに対して,活性化関数として滑らかに変化する非線形関数を導入して層を重ねて多層にしたニューラルネットワークでは,幅広い非線形領域を表現することが可能になる.今回採用した多層パーセプトロンニューラルネットワークモデルでは,中間層(隠れ層,hidden layer sizes)を10 ユニット2層,活性化関数を"ReLU 関数"(rectified linear unit,正規化線形関数と呼ばれる非線形関数),最適化法を"lbfgs(準ニュートン法)"に設定した.モデル構造とパラメータの概略を以下に示す(図1).

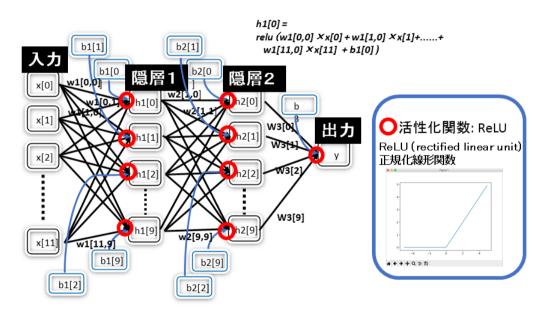


図1. 隠れ層 (10 ユニット2層) の多層パーセプトロンニューラルネットワーク

3. テストデータでの検証作業

構築モデルの精度検討のため,初めに取り分けたテストデータを用いて,BIS値の推定を行った.テストデータ(25%,5692ポイント)の脳波解析値11種を,訓練時と同様に前処理して,平均0,分散1にスケール変換した脳波特徴量を,各々の取得

モデルに適応して , BIS 値を推定した (eBIS) . テストデータの実測 BIS 値 (BIS) と推定 BIS(eBIS) の関係を \mathbf{R}^2 スコア (決定係数: coefficient of determination) により検討することで , 簡易なモデル検証を行った .

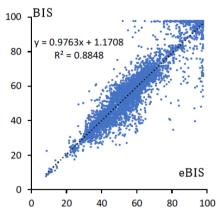


図 2. k-近傍回帰モデル (3 点) の結果

結 果

(1) k-近傍回帰モデル (3点) の結果

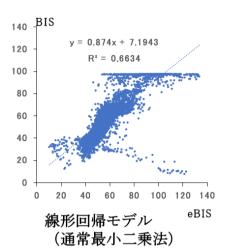
k-近傍回帰モデルでは,測定 BIS と推定 BIS の関係は,R² スコアが 0.88 と良好な推定精度であった(図 2).一方,k-最近傍法は,格納データから最近傍点を見つけて予測を行うが,今回のテストデータが,訓練データの取得患者と同じ患者群から採取したため,類似のデータが多く,高い精度となった可能性も考えられる.新規の目新しい性向をもつ患者での検証と,更に様々な患者母体からの脳波データを用いた訓練が近傍回帰モデル取得に必要と思われる.

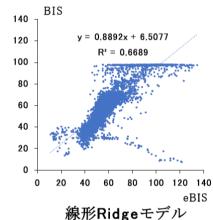
(2) 線形モデルの結果

線形回帰モデル, 亜型線形回帰 (Ridge 回帰, Lasso 回帰モデル) はいずれも R^2 スコアは 0.65 前後であり , BIS の低値 (約 30 以下) や高値 (約 80 以上) では , BIS 推定値 (eBIS) のばらつきが大きく , BIS 予測が難しかった (図 3) . このように , 線形回帰モデルの適応限界が明らかであった .

(3) 多層パーセプトロンニューラルネットワーク モデルの結果

今回採用した中間層が10 ユニット 2 層のニューラルネットワークモデルでは,推定 BIS 値と測定 BIS 値の関係は, v=1.003x-0.124. $R^2=0.949$





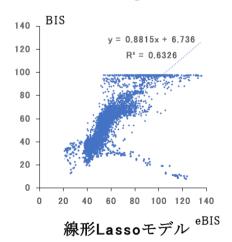


図3. 線形モデルの結果

と試行モデルの中では最も良い精度が得られた (図 4).

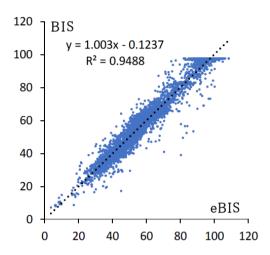


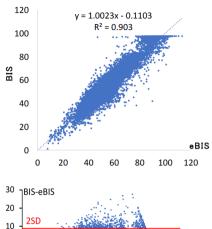
図 4. 多層パーセプトロンニューラルネットワーク モデルの結果

モデルが訓練データに特化する (過学習) 可能性を考慮して ,データセットを 31 症例 (年齢: 20-85歳) , 85186 点 { 学習用 75 % (63889 点) , テスト用の 25 % (21297 点) } に増やして , 再度検証した結果を図 5 に示す . Bland-Altman 分析も併せて示した .

結果は, $R^2=0.903$ と若干決定係数の低下が認められたが,良好な推定が可能であった.また,Bland-Altman plot は偏りの少ない分布 (bias =0.02, 2SD=9.04) であり,系統誤差が存在しないことが確認できた.また,交差検証 (cross-validation) により汎化性能を評価した.k 分割交差検証では,データセットを訓練セットとテストセットに,k 回分割して,各々のデータセットで訓練とテストを施行して検証する.4 分割の交差検証の結果は,0.902, 0.907, 0.906, 0.900 であり,平均スコアは 0.903 の偏りのない安定した結果が得られた.

最後に今回得られた多層パーセプトロンの重み 係数とバイアスを視覚化して観察した(図 6,7).

入力 隠れ層1の関係では,重み係数の絶対値が高い脳波特徴量が,BIS推定への貢献が大きいことが予想されるが,10ユニット,2層構造に重みが分散されるため,重み係数の展開は複雑で,モデル構造寄与に関する理解は容易ではない.



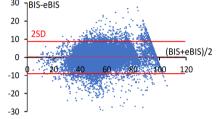


図 5. データ数を増やした多層パーセプトロン ニューラルネットワークモデルの結果

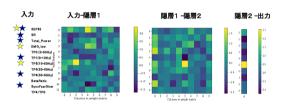


図 6 . 得られた多層パーセプトロンモデルの重み 係数

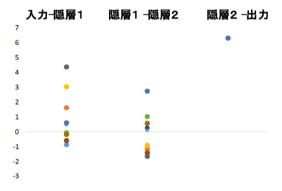


図7. 得られた多層パーセプトロンのバイアス

まとめ

今回, Python を用いて, 各種脳波特徴量から学

習により BIS 値を予測する試みを施行した. 多層パーセプトロンニューラルネットワークモデルでは,良好な BIS 値の推定が可能であった.今後,より一般汎化したモデルを取得するために,訓練データ数を増やすことや,入力特徴量,モデル構造の調整など,更に検討が必要である. Scikit-learnは,初心者にも扱いやすく,容易に入門が可能であった.

参考文献

- Andreas C. Muller, Sarah Guido. Python では じめる機械学習 scikit-learn で学ぶ特徴量エンジ ニアリングと機械学習の基礎. 出版社: オライリー ジャパン (2017/5/25)
- 2. 斎藤 康毅. ゼロから作る Deep Learning Python で学ぶディープラーニングの理論と実装. 出版社: オライリージャパン (2016/9/24)
- Wes McKinney. Python によるデータ分析入門 第
 2 版 NumPy , pandas を使ったデータ処理. 出版社: オライリージャパン; 第 2 版 (2018/7/26)

ABSTRACT

The estimation of a BIS level by machine learning

Kazuko Hayashi

Using Python and scikit-learn, we conducted a study of predicting BIS levels by machine learning technique from various electroencephalographic characteristics. The appropriate prediction of BIS level was possible by the multilayer perceptron neural network model, which consists of two hidden layers with 10 nodes. In order to acquire the more generalized model, the examination of model structure, and the adjustment of increasing the number of the training datasets, are necessary in future. "Scikit-learn" was easily available for a beginner to accomplish the machine learning technique.

Department of Anesthesiology, Kyoto Chubu Medical Center, Nantan, Kyoto, Japan

全静脈麻酔下で薬物相互作用を用いて求めた 個体ごとの必要レミフェンタニル濃度の特徴 松木悠佳 ,長田 理* , 重見研司

はじめに

鎮静度を測定するモニタには BIS が存在し、個 体ごとにプロポフォールの効果部位濃度と BIS 値 の組み合わせから回帰曲線を求めることで、個体間 変動または個体内変動に応じて、必要な BIS 値が得 られるプロポフォール効果部位濃度 (esTEC; estimated Target-Effect-site Concentration) をリア ルタイムに算出できる.

麻酔科医は鎮痛効果を「血圧,心拍数などから総 合的に」評価している.鎮痛薬と鎮静薬の関係に

は相互作用が存在し,相乗作用を示す下に凸の曲 線で説明できる(図1).この関係は,

$$y = c/(x-a) + b$$

で近似できる.鎮痛薬の濃度を引き上げても鎮痛 薬の効果の上昇が乏しい,鎮静薬の変化率が乏し くなる鎮痛薬の濃度を esMIC(estimated maximal 一方、現時点で鎮痛度を測定するモニタはなく、individual concentration) と名づけ、曲線の傾き・ 1 の座標からの残差が 20 %のところを esMIC₂₀ とした.

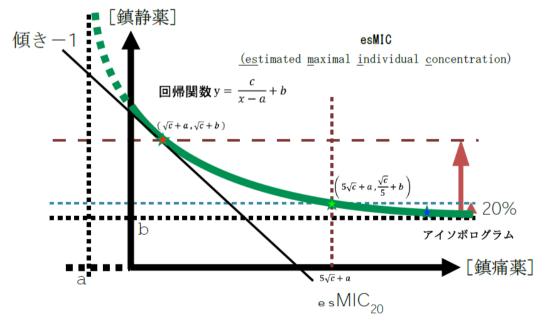


図 1. 鎮静薬と鎮痛薬の関係

福井大学学術研究院医学系部門医学領域器官制御医学講座 麻酔・蘇生学分野 *国立国際医療研究センター 麻酔科

方法

プロポフォール, レミフェンタニルによる全静 脈麻酔で婦人科手術を受けた20例を対象とした. 硬膜外麻酔,脊髄くも膜下麻酔等局所麻酔を併用 した患者,妊娠している可能性のある患者,高度肥 満患者 (body mass index>30kg・m⁻²) は除外し た、全例前投薬は行わなかった、手術室入室後, 心電図,非観血的血圧計,パルスオキシメータ, BIS クワトロセンサ $^{ ext{(B)}}$ (コヴィディエンジャパ ン, 東京) を前額部に装着し, BIS 値は BIS モニ ター (AE-900P、日本光電、東京) を用いて計測し た.麻酔導入は,プロポフォールとレミフェンタニ ルを用い,プロポフォールは目標制御注入 targetcontrolled infusion(TCI) システムで目標血中濃 度 $3\mu g.ml^{-1}$, レミフェンタニルは $0.5\mu g.kg^{-1}$ ・ min^{-1} で行った.麻酔導入後,プロポフォールは esTEC₄₅ となる自動投与に切り替えた. レミフェ ンタニル持続投与速度は,循環動態や手術侵襲に 応じて麻酔科担当医が 0.2~1.0µg.kg⁻¹・min⁻¹ の 範囲で適宜調節した、麻酔記録、SQI、EMGから 不適切と判断したデータを削除し,カーブフィッ ティングを実施した. 各症例における $esMIC_{20}$, a, b, c を求め, 集計した.

結 果

患者背景を表 1 に示す .1 症例における $esMIC_{20}$ と a,b,c 値の経時的変化を図 2 に示す .a と b 値は麻酔中において値に大きな変化はないが $,esMIC_{20}$ と c 値は手術侵襲とともに値が変化していた . 次に $esMIC_{20}$ と a,b,c のヒストグラムを図 3 に示す .a,b 値は , 患者間でのばらつきが少なかった $.esMIC_{20},c$ 値は , 患者間でばらつきが見られた .

考察

a 値と b 値は , 個体内変動・個体間変動が小さかった . $esMIC_{20}$ と c 値は , 遅れはあるものの手

表 1. 患者背景 (n=20)

		. ,		
		腹腔鏡下婦人科手術		
年齢 [歳]		50 ± 14		
身長 [cm]		156 ± 4		
体重 [kg]		50 ± 14		
手術時間 [分]		170 ± 74		
麻酔時間 [分]		250 ± 76		

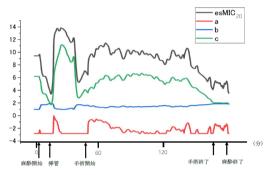


図 2. 一症例における経時的変化

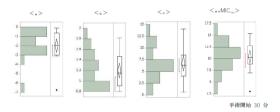


図 3. a, b, c, esMIC₂₀ 値のヒストグラム

術侵襲に応じて変動していた.本モデルを用いると,a値は個人差が小さく,b値は鎮静の最低必要量,c値は手術侵襲を表すと考えられた.esMIC₂₀でレミフェンタニルを投与することで,ほとんどの患者で十分な鎮痛が得られると考えられた.

結 語

鎮静と鎮痛の関係を双曲線モデルに当てはめることができた。本モデルを用いることで,客観的に手術侵襲および必要鎮痛薬濃度を推定することができると考えられた。本モデルから計算される必要鎮痛薬濃度を調節することで,個体差・手術侵襲に応じた適切な麻酔管理を実現できることが示唆された。

当院におけるマニュアル TCI の試み 島田舞衣,鷹架健一,菅原亜美,国沢卓之

はじめに

Target-controlled infusion (TCI)システムの有用性は明かであるが、現在商用ポンプで利用可能な薬物はプロポフォールのみで、使用可能なパラメータは Marsh、標的器官は血漿のみである。ゆえに他の薬物・パラメータを利用して TCI を行う際は、未承認機器やソフトウエアを利用する必要があり、日常臨床での使用は容易ではない。今回、当院での麻酔情報システム (ORSYS®) を利用したマニュアル TCI を利用し、鎮静を施行した症例を経験した。

症 例

60代,男性.身長165cm,体重77kg.急性大動脈解離術後の左反回神経麻痺に対して甲状軟骨形成術が予定された.術野での局所麻酔に加えて,術中鎮静はフェンタニル(薬物動態パラメータ:Shafer¹⁾⁾とデクスメデトミジン(薬物動態パラメータ:Dyck²⁾⁾を使用した.投与開始時の単回投与量と持続投与量は,事前にTivatrainer^{®3)}を利用し検討し,投与開始後は,ORSYS[®]に表示される予測血中濃度の未来予測とシミュレーターを利用した投与量の調節を行った.

接続方法

ORSYS[®]を搭載した PC とシリンジポンプは, MOXA 製 4 ポート RS-232 USB-シリアル・コンバータ (R-UC) を経由して,それぞれ USB・シリアルケーブルを利用して接続した.現在当院で使用できる薬物は 4 種類で,R-UC(MOXA 製)の4 つのポートを経由して,接続可能となっている(図 1).

薬物に応じて使用可能なシリンジポンプが規定されており、本症例ではプレセデックス[®]、フェ

接続方法

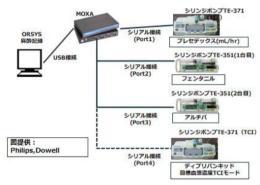


図1 機器の接続方法

MOXA 製 4 ポート RS-232 USB-シリアル・コン バータ (R-UC) を経由し , ORSYS[®] 搭載 PC , シリ ンジポンプを接続する .



図 2 ログイン時の $ORSYS^{@}$ 画面 麻酔記録開始前に使用ボンプを選択し,承認を行う.ログイン後も一旦ログアウトすれば,同様の操作を行える.

ンタニルを利用するため,それぞれ TE-371, TE-351を使用した.接続後,麻酔記録開始の画面の時点で,接続するシリンジポンプの種類に応じた使用薬剤を選択する(図 2).

薬物濃度は , プレセデックスは $4 \mu \text{ g/ml}$, フェンタニル $10 \mu \text{ g/ml}$ の固定であるため , その濃度 となるように薬液準備・希釈を行い , 投与前に再度確認を行った .

麻酔記録への反映

ORSYS[®]と接続して認識された際,薬剤名の欄で,「ポンプ取り込み(静注)」の段が表示されるようになり,TE-371 の場合送液中は緑回転点滅表示であるが、データ通信中は緑全点滅も追加表示される.シリンジポンプから該当薬剤投与後1分程度でORSYS[®]へデータが取り込まれ,数値が表示される.尚,現時点で,TE-351 は通信ランプの点滅表示機能はない(図3).

ポンプ自動取り込みから記録された投与薬物の診療報酬請求は,されない仕様になっているため,ポンプから取り込んだ薬剤を手動で別列に追記する必要があり,具体的には,麻酔記録画面で「ポンプ自動取り込み分」と「手動入力分」を2重に表示させることになる.

投与後の薬物濃度表示

シリンジポンプから自動取得した投与情報の予 測血中濃度を表示させることが可能である.「ポ ンプ取り込み」と記載されている薬物を選択する と,図4のように,予測血中濃度が表示される. ポンプ取り込みと手動入力した薬剤の血中濃 度・効果部位濃度は,上図のように表示される. デクスメデトミジンの場合は,単回投与を行わな い薬物であるため,両者の差は小さい値となる. 一方フェンタニルは,今回は単回投与(40 µ g)直 後に持続投与 (39 µ g/hr) を開始しており,手入 力ではそれを比較的高い精度で入力できるが,ポ ンプ取り込みでは単回投与分の取り込みが反映さ れない仕様になっている.実際投与した40 µg を反映させるために,最高速度(工場出荷時設定 150mL/h:院内規定が許容されれば変更可)の持 続投与を行う必要があり、1分36秒の投与が必要 となる.単回投与情報を取り込めない仕様は,予



図3 本症例の麻酔記録

本症例の麻酔記録を示している.フェンタニル,プレセデックス[®]のそれぞれ,ポンプ取込(静注)欄が表示された値が表示されている.



図4 ORSYS[®]における予測血中濃度表示画面薬物を選択すると,予測血中濃度(パラメータによっては,効果部位濃度)が表示される.自動取り込みから算出した濃度と,手動入力した濃度を並べて表示している.後述のタイムラグなどの関係で,値は完全に一致しない事が多い.

測血中濃度の誤差を大きくしうる. 具体的には, $ORSYS^{\mathbb{B}}$ への反映は1分毎 (00 秒) であるため,上記の場合 00 秒を同じ速度で1 回または,2 回通過したと認識されるため,オルシス $^{\mathbb{B}}$ には1分間または,2分間投与されたと認識され,合計投与量が25 μ g,または,50 μ g 投与されたと記録される.2分 00 秒からは 39 μ g/hr は反映されるが,持続投与開始時間が次の 00 秒からとなり,手動入力との誤差が生じる.

考察

未承認医療機器を利用せず,保険適応内の投与 速度で薬物投薬を行いながら標的濃度を指標とし た投薬量の調節を行うことが可能である.自動入 力により,投与時間と投与量が反映でき,その場 での手入力の手間が省ける利点がある.しかし, 改善が望まれる不都合がいくつか存在する.

現行システムでは,薬剤請求は,手入力が必要

となるため,実際の投与量の最終的には手入力が必要である.また,投与量が積算量を反映しないため誤差が大きい.具体的には,① 投与量の取り込みが,1 分おきである点,② ボーラス投与を反映しない点,③ 意図せず取り込みポートが閉鎖した場合にアラートが表示されない点,④ TE-351は,通信中の表示(点滅など)されない点などである.

具体的には,投与速度の反映は 00 秒の時であるため 00 秒以外の投与変更や 1 分以内の投与量変更は反映されない.つまり,59 秒に $60 \mathrm{mL/h}$ で投与を開始し,01 秒に投与を停止した場合,実際には, $2/60 \mathrm{mL}$ しか投与されていないのに,システムでは, $1 \mathrm{mL}$ 投与したと認識され,投与量の 30 倍として,予測濃度を算出してしまう.

「プライミング操作による早送りを患者への投与」というご認識を防止できる利点があるが,TE-371 のように,プライミングボタンと単回投与機能を2つ併せ持つ機器でも,後者の取り組みができないため,現在は,シリンジポンプごとに設定されている速度を利用して1分単位で持続投与量を調節している.将来的に積算量の差分から投与量を取り出せるようにすると,精度が増す可能性が期待され,ORSYS®のシミュレーターとの利用でさらに有用となると考えられる(但し,差分量による記録システムを採用した場合は,プライミ

ングと単回投与を識別できるポンプを正しく操作 しないと,実際の投与量より過量投与されたと記 録されるピットフォールも存在する).

実際に投与が行われているにも関わらず,システム上で投与量が反映されない.

 $\mathrm{ORSYS}^{\mathrm{B}}$ に投与量の自動記録がされない場合, タイムラグか,システムエラーか判定が容易ではない.

今後,使用感・精度向上を目的として,上記の 改善を開発企業と協議しながら,改修を検討して

麻酔情報システム (ORSYS[®]) を利用したマニュアル TCI を利用し、鎮静を施行した症例を経験した・システム改善点の必要性が明らかになったものの、自動取り込みの有用性と将来性を認識することが可能であった.

参考文献

- Shafer SL, Varvel JR, Aziz N,, et al. Pharmacokinetics of fentanyl administered by computercontrolled infusion pump. Anesthesiology, 1990;73(6): 1091-102.
- Dyck JB, Maze M, Haack C, et al. Computercontrolled infusion of intravenous dexmedetomidine hydrochloride in adult human volunteers. Anesthesiology. 1993;78(5):821-8.
- 3. http://eurosiva.org/TivaTrainer/tivatrainer_main.htm

呼吸音連続可視化モニタリングの紹介と 手術室での呼吸状態評価の可能性 讃岐美智義, 志馬伸朗*, 大下慎一郎*, 貞森拓磨*, 清水勇治[†], 長谷部剛[†]

はじめに

聴診器による呼吸音聴取は上気道~肺の異常を評価する簡便で有用な指標であるが,個々の聴診能力の差に依存しており,連続的評価ができないのが欠点である.その問題を解決するため,連続的に呼吸音をモニタリングし視覚化するシステムを AMED「未来医療を実現する医療機器・システム開発事業」の助成をうけ広島大学,パイオニア株式会社,東京電機大学,日本光電工業社と共同開発中である.この呼吸音連続可視化モニタリングシステムの可能性をパイロット研究で評価した.

方 法

事前同意を得た呼吸器疾患のない症例で,気管 挿管全身麻酔患者および非挿管鎮静患者で,要素 試作機(図1)を用いて,頸部および胸部に貼付した複数のセンサーから呼吸音を連続記録した.呼吸音の音量表示とともにスペクトル表示(図2)を加えて呼吸音を視覚的に評価し,臨床的な異常がリアルタイムに捉えられるかを評価した.

結 果

全身麻酔で管理した患者の抜管直後に一過性の上気道狭窄を生じた症例(図3)では,頸部で吸気時に強い類鼾音を聴取し,スペクトル表示でも全周波数帯域の増強(図4中)をみとめた.また,無呼吸と吸気や呼気途中の呼吸停や不規則性がスペクトル表示(図4右)でも確認できた.これらの

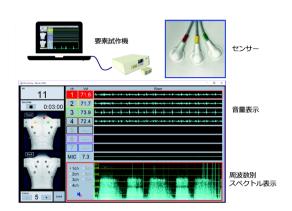


図 1. 要素試作機と呼吸音センサー

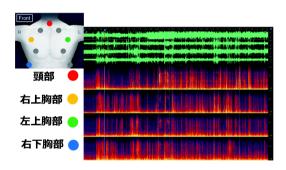


図 2. センサー貼付部位とスペクトル表示

現象は,麻酔薬の影響や喀痰貯留などによる上気 道閉塞と考えられた.音だけではなく視覚的にも 麻酔から覚醒すると時間とともに改善する様子が リアルタイムに確認できた.

非挿管鎮静管理症例 (図 5) では , SpO₂ が低下する前から類鼾音や無呼吸を聴取し , スペクトル表示でも視覚的に捉えることが可能であった . また , 用手的に気道確保を行わなと気道閉塞を引き起こす状態では , 無呼吸になる様子も視覚的に捉えられた . さらに , EtCO₂ 低下に先立って異常か

広島大学病院 麻酔科

^{*}広島大学大学院 救急集中治療医学

[†]パイオニア株式会社

全身麻酔症例の抜管直後(頸部)

図 3. 全身麻酔症例の抜管直後の一過性 上気道狭窄と無呼吸 (頸部)

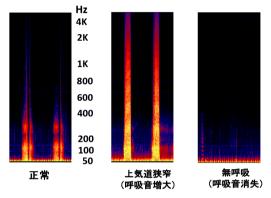


図 4. スペクトル表示による音の同定 (左:正常, 中:上気道狭窄,右:無呼吸)

ら正常に呼吸音が変化する様子がリアルタイムに 捉えられ,視覚的にも経時的な呼吸状態の追跡が 可能であった.

考察

本システムでは、頸部での上気道狭窄や無呼吸状態、呼吸の不規則性を、音およびスペクトルグラム表示によりリアルタイムに確認できることが確認できた¹)、換気状態を音により捉えることが可能であるため、SpO2が低下する前に検知することができた.また、EtCO2低下に先立って異常から正常に呼吸音が変化する様子が捉えられることも確認できた.本モニターでは麻酔科医の目視や連続聴診と同等の呼吸モニタリングが期待できる.

非挿管鎮静症例 頸部

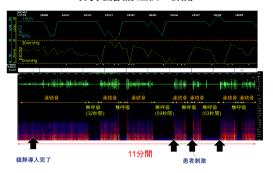


図 5. 非挿管鎮静管理症例の経時記録 (頸部)

表. 各種呼吸モニター機器の特徴と課題

	本法	古典的 聴診		RRa	インピーダンス ニューモグラフ
特徴	簡便 シームレス	簡便		簡便 シームレス	簡便 心電図モニターを 利用
課題	開発中 携帯小型化	連続評価が困難 本人のる		呼吸数のみ SpO₂必要	呼吸数のみ 電気メスのノイズ に弱い
	パルスオキシ	メーター	力	プノグラフィ	
特徴				CO₂(数値)と 形	
課題	無呼吸発生からの タイムラグがある			挿管時の信頼 は低い	

これまでの呼吸モニターとの比較 $(表)^{3,4}$ では, 本法は簡便で連続的にモニタリングが可能である ことから挿管でも非挿管でもシームレスなモニタ リングが可能であることが利点である.課題とし ては開発中で市販されていないことや携帯小型化 がある、古典的な聴診は、簡便であるがモニター ではなく連続評価が困難であることや聴診者本人 のみにしか分からないことが課題である. マシモ 社の Acoustic respiration rate (RRa)²⁾ では,簡 便でシームレスな点は同様であるが, 呼吸数のみ しかわからず RRa センサー以外に SpO_2 センサー が必要な点が課題としてあげられる. 聴診を利用 したモニターでは,心電図モニターを利用してイ ンピーダンスから呼吸数を表示するインピーダン スニューモグラフがあるが, 呼吸数のみで狭窄や 異常音は捉えられない.また,手術室では電気メ スノイズに影響されるため使用できないことが多 11. パルスオキシメーターは , SpO_2 の低下によ

り呼吸の異常が類推できるが,無呼吸になってから SpO2 低下までに分単位のタイムラグがある.また,カプノグラフィーでは,EtCO2 の数値表示とカプノグラム波形表示で,換気の異常が検出でき,気管挿管時の信頼度は高い.しかし, 非挿管ではセンサーの位置ずれによる信頼度の低下や特別な形状のセンサーを用意しなければならず,シームレスとは言いがたい.

結 語

新規に開発した呼吸音連続可視化モニタリングシステムは,呼吸音を視覚化して連続評価することで,全身麻酔や鎮静の安全性を高める新たな客観的指標となる可能性がある.

本研究は, AMED の課題番号 JP17he1602002h0201 の支援を受けています

引用文献

- 1. 西村 敏弘, 白木 博文, 足立 仁志, 佐藤 千紗, 中野博: 呼吸音の解析による重症心身障害児の理学療法 手技の客観的評価 サウンドスペクトログラムを 用いて. 薬理と臨床 10(4): 325-331, 2001.
- 2. 枝長充隆, 高田幸昌, 山蔭道明: 新たな呼吸数モニタリングの可能性. 日本臨床麻酔学会誌 35(2): 250-256, 2015.
- 3. 高木 俊一: 麻酔の安全性と呼吸モニタリング. LiSA 23(4):360-363, 2016.
- 4. 白神 豪太郎: MAC/鎮静での呼吸トラブルを回避 せよ. LiSA 23(4): 370-374, 2016.

ABSTRACT

Continuous breathing sound visualization monitoring and potential for assessment of respiratory status in operating room Michiyoshi Sanuki¹, Nobuaki Shime², Shinichiro Ohshimo², Takuma Sadamori², Yuji Shimizu³, Tsuyoshi Hasegawa³

The stethoscope is a simple and useful device to detect possible abnormalities ranging from the upper respiratory tract to lungs. However, accuracy varies among stethoscopes and continuous evaluation is not possible. To address these limitations, in collaboration with Hiroshima University, Pioneer Corporation, Tokyo Denki University, and Nihon Kohden Corporation, as well as with support from the AMED "Development of medical devices and systems for future medical care" project (JP17he1602002h0201), we have developed a novel monitoring system that continuously visualizes breathing sounds.

With this system, in patients with airway obstruction, in addition to a sound similar to snoring, respiratory sounds in the upper airway were recognizable for a longer period of time, while apnea time and irregularities in breathing could also be detected. These monitoring findings were considered to be comparable to visualization by an anesthesiologist.

Our novel continuous breathing sound visualization monitoring system provides objective indicators to improve the safety of general anesthesia and sedation by visualizing breathing sounds for continuous evaluation.

- 1 Department of Anesthesiology and Critical Care, Hiroshima University
- 2 Department of Emergency and Critical Care Medicine, Graduate School of Biomedical Sciences, Hiroshima University
- 3 Pioneer Corporation

寄稿:

複素関数入門

田中義文

はじめに

複素関数を勉強しようと思い立った理由は,ラプラス変換やその逆変換の理屈を理解したかったためである.生理学の中でストレスとその過渡応答は最も興味を持つ現象であり,その解析にラプラス変換は重要なツールである.しかし,ラプラス変換は複素関数論の基礎に立脚し,その演算の本質である留数定理の意味は理解できず,単にラプラス変換表だけを頼りに今日までお茶を濁してきた.ようやく現役の仕事も終え,一息つくつもりで複素関数論に再度挑戦した次第である.

本棚に眠っている複素関数論の成書は難解で素人には歯が立たない.幸い,竹内 淳著の「高校数学でわかる複素関数」 1)を見つけだし,約1ヶ月で読み終えた.本稿はその核心部分を抜粋し,その他インターネットからの知見も加筆した.

ラプラス変換をあみだしたヘビサイト自身はその理論がよく分からなかったようである.20世紀に入ってプロムウィッチらにより,ラプラス変換演算子法は証明されたようである.筆者はそこまでは理解できないが,ラプラス変換表に頼らずに変換や逆変換が出来るようになった.

竹内氏の本は大変わかりやすいので,会員のみなさまには是非一読を勧める名著である.

1. フーリエ級数のおさらい²⁾

A. 三角関数を利用する.

フーリエ級数とは,どのような周期関数でも三角関数の多項式で表現できる技術である. つまり,ある任意の周期関数 $f(\theta)$ $(-\pi \le \theta \le \pi)$ が

京都府立医科大学 名誉教授

$$f(\theta) = a_1 \cos \theta + a_2 \cos 2\theta + a_3 \cos 3\theta + \cdots$$

$$+ a_1 \sin \theta + a_2 \sin 2\theta + a_3 \sin 3\theta + \cdots$$

$$+ C$$

$$= C + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\theta + b_n \sin n\theta) \dots 1-1)$$

で書けるとする (但し , n は正整数) . その答え , C, a_n, b_n は ,

$$C = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(\theta) d\theta \dots 1-2)$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \cos n\theta f(\theta) d\theta \dots 1-3)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \sin n\theta f(\theta) d\theta \dots 1-4)$$

となる.

この式の原理は, $f(\theta)$ が $\sin n\theta$ または $\cos n\theta$ に合致しない全ての周期成分に対して, $-\pi$ から π までを積分すると強制的に 0 になる理屈である.C については $f(\theta)$ の平均値だから直流成分に相当する.矩形波,三角波などの複雑な例は文献 2)に示しているので,簡単な例を取り上げる.

例:
$$f(x) = \sin\left(heta + rac{\pi}{4}
ight)$$

この式は三角形の加法定理を使うと,

$$\sin\left(\theta + \frac{\pi}{4}\right) = \sin\theta\cos\frac{\pi}{4} + \cos\theta\sin\frac{\pi}{4}$$
$$= \frac{1}{\sqrt{2}}\sin\theta + \frac{1}{\sqrt{2}}\cos\theta$$

であり, a_1,b_1 がそれぞれ $\frac{1}{\sqrt{2}}$ が予想される.C については 1-2)式を適応すると,与式が 1 周期であるから,C=0 とかんたんに求められる.

 \cos の項目については 1-3) 式について n=1 だけを計算すればよく ,

$$a_{1} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \cos \theta \, f(\theta) \, d\theta$$

$$= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \cos \theta \sin \left(\theta + \frac{\pi}{4}\right) d\theta$$

$$= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \cos \theta \left(\sin \theta \cos \frac{\pi}{4} + \cos \theta \sin \frac{\pi}{4}\right) d\theta$$

$$= \frac{1}{\pi \sqrt{2}} \int_{-\pi}^{\pi} (\cos \theta \sin \theta + \cos^{2} \theta) d\theta$$

となる.積分の1項目は倍角の定理より $\frac{\sin 2\theta}{2}$ だから0になる.2項目は

$$\cos 2\theta = \cos^2 \theta - \sin^2 \theta$$
$$= \cos^2 \theta - (1 - \cos^2 \theta)$$
$$= 2\cos^2 \theta - 1$$
$$\therefore \cos^2 \theta = \frac{\cos 2\theta + 1}{2}$$

であるから , $\cos 2\theta$ の部分は 1 周期を積分すると 0 になるため , $\frac{1}{2}$ の部分だけの積分を行えばよい .

書き直すと

$$a_1 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \cos \theta f(\theta) d\theta$$

$$= \frac{1}{\pi\sqrt{2}} \int_{-\pi}^{\pi} (\cos \theta \sin \theta + \cos^2 \theta) d\theta$$

$$= \frac{1}{\pi\sqrt{2}} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{1}{2} d\theta$$

$$= \frac{1}{\pi 2\sqrt{2}} \int_{-\pi}^{\pi} 1 d\theta$$

$$= \frac{1}{\pi 2\sqrt{2}} [\theta]_{-\pi}^{\pi} = \frac{1}{\pi 2\sqrt{2}} (\pi - (-\pi))$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}}$$

となり, a_1 の係数が得られる.

同様に b_1 について1-4) 式を用いると,

$$b_1 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \sin \theta f(\theta) d\theta$$

$$= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \sin \theta \sin \left(\theta + \frac{\pi}{4}\right) d\theta$$

$$= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \sin \theta \left(\sin \theta \cos \frac{\pi}{4} + \cos \theta \sin \frac{\pi}{4}\right) d\theta$$

$$= \frac{1}{\pi \sqrt{2}} \int_{-\pi}^{\pi} (\sin^2 \theta + \sin \theta \cos \theta) d\theta$$

2項目は消えて,1項目は

$$\sin^2 \theta = \frac{1 - \cos 2\theta}{2}$$

であるから,積分内部は $rac{1}{2}$ になり, a_1 と同じ結果になり,

$$b_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

となって,フーリェ級数が正しいことがわかる. もっと簡単な例を提示しよう. $f(\theta) = \sin \theta$ をフーリェ級数展開すると,

$$a_1 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \cos \theta f(\theta) d\theta$$

$$= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \cos \theta \sin \theta d\theta$$

$$= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{\sin 2\theta}{2} d\theta = 0$$

$$b_1 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \sin \theta f(\theta) d\theta$$

$$= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \sin^2 \theta d\theta$$

$$= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{1 - \cos 2\theta}{2} d\theta$$

$$= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{1}{2} d\theta = \frac{1}{2\pi} [\theta]_{-\pi}^{\pi} = \frac{2\pi}{2\pi} = 1$$

と,暗算とまでは行かないが,簡単に解ける.

B. オイラーの公式を利用する.

複素数とは実数と虚数を含む数値であり,a,b,c,dを実数,そしてiを虚数単位とすると,

$$a + ib = c + id$$

が成り立ては,必ず

$$a = c,$$
 $b = d$

が成り立つ.オイラーの公式は.

$$e^{in\theta} = \cos n\theta + i\sin n\theta \dots 1-5$$

である.よく, $e^{i\pi}=-1$ と見かけるが,これはオイラーの公式の応用にすぎない 1 .

この関係を利用してn の代わりに-n を代入すると, \cos は偶関数, \sin は奇関数だから,

式が生まれる . 1-5 式と 1-6 式を利用すると,

$$\cos n\theta = \frac{e^{in\theta} + e^{-in\theta}}{2} \dots 1-7$$

$$\sin n\theta = \frac{e^{in\theta} - e^{-in\theta}}{2i} \dots 1-8$$

が生まれる.これらの関数を 1-1) 式に代入して 処理をおこなうと,最終的に

変数 c_n を

と定義すると , フーリエ級数 $f(\theta)$ は

$$f(\theta) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{in\theta} \dots 1-10$$

と書ける²⁾.

 c_n について ia_n, b_n 式を代入すると,

と一行で書ける.n=0 の場合, b_n については $\sin 0\theta$ となり, $b_0=0$ が成立ち, $C_0=\frac{a_0}{2}$ となる.また 1-11) 式の指数は 0 だから 1 周期の平均値を計算する

せっかく仕上った複素関数である 1-11) 式に例題の $f(\theta)$ を代入すると ,積分内部でオイラーの公式を展開しなくてはならない . 手間は先ほど求めた三角関数の手順とかわらないことに気がつく . 結局のところ周期関数では意味をなさないが , 非常に長い 1 周期である過渡解析ではフーリエ変換が抜群の威力を示す .

2. 複素数の微分法則

複素関数の微分とは

$$\frac{df}{dz} = \lim_{\Delta z \to 0} \frac{\Delta f}{\Delta z} = \lim_{\Delta z \to 0} \frac{f(z + \Delta z) - f(z)}{\Delta z}$$

の演算である.

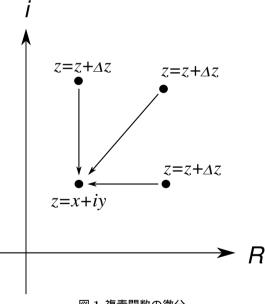


図1 複素関数の微分

図 1 に示すように,横軸を実数,縦軸を虚数にとるガウス平面において,関数 f(z) が微分可能であるという意味は,立て,横,斜めからzへ近づいても同じ微分値を示さなければならない.それ

¹補足 0.1 参照

が満足されれば f(z) を正則関数という.図 1 に f(z) が表示されてないと疑問に思うが,それは z 点上に立体的に存在する.もし f(z) が実数だけなら 3 次元表示ができるが,虚数を含めると 4 次元になり表示が不可能になる.

今関数 f(z) を f(z)=g(z)+ih(z) なる実関数 $g(x,y),\ h(x,y)$ で書けるとする.立て方向を固定して $(\Delta y=0)$, 横方向から微分すると ,

$$\frac{df}{dz} = \lim_{\Delta z \to 0} \frac{\Delta f}{\Delta x + \Delta y} = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta f}{\Delta x} = \frac{\partial f}{\partial x}$$
$$= \frac{\partial g}{\partial x} + i \frac{\partial h}{\partial x}$$

となる.今度は横方向を固定して $(\Delta y = 0)$,立て方向から微分すると,

$$\begin{split} \frac{df}{dz} &= \lim_{\Delta z \to 0} \frac{\Delta f}{\Delta x + i \Delta y} = \lim_{\Delta y \to 0} \frac{\Delta f}{i \Delta y} = \frac{\partial f}{i \partial y} \\ &= \frac{\partial g}{i \partial y} + i \frac{\partial h}{i \partial y} = -i \frac{\partial g}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \end{split}$$

となる、両方向から求めた微分式は等しいので、

$$\frac{df}{dz} = \frac{\partial g}{\partial x} + i\frac{\partial h}{\partial x} = -i\frac{\partial g}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y}$$

がなりたつ.さらに,実数どうし,虚数どうしが 等しいので,

$$\frac{\partial g}{\partial x} = \frac{\partial h}{\partial y}$$
, $\frac{\partial h}{\partial x} = -\frac{\partial g}{\partial y}$2-1)

が成り立つ.この関係をコーシー・リーマンの関係式とよび,この関係式が成り立てば複素関数f(z) は正則関数だといえる.

正則な複素関数f(z) と g(z)の性質 実数での微分法則と同様に扱ってもよい.

1) 四則演算.

$$\begin{split} (f(z)+g(z))' &= f'(z)+g'(z)\\ (g(z)g(z))' &= f'(z)g(z)+f(z)g'(z)\\ \left(\frac{f(z)}{g(z)}\right)' &= \frac{f'(z)g(z)-f(z)g'(z)}{g(z)^2} \quad (g(z)\neq 0) \end{split}$$
 ార్థిన్.

2) zⁿ の微分

$$\frac{d}{dz}z^n = nz^{n-1}$$

3) 指数関数の微分

$$\frac{d}{dz}e^z = e^z$$

3. 線積分

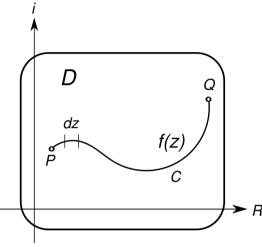


図 2 線積分とコーシーの積分定理

複素関数論は線積分のオンパレードである.まず,大学教養課程で習う実関数の線積分を復習する.図2が実数のx-y平面として,積分路Cに沿って,点PからQまでを関数f(z)について積分することを線積分という.式で示すと

$$\int_{P}^{Q} f(z)dz$$

である.z は x,y の関数であるから,関数 f(z) について積分することを線積分という.式で示すと

$$\int_{P}^{Q}f(x,y)dl$$
ただし $dl=\sqrt{(dx)^{2}+(dy)^{2}}$

である.x-y 実平面であれば 3 次元をイメージして f(x,y) は積分路 C に沿った屏の高さと考えてよく,f(x,y)=1 であれば,積分路 C の距離になる.当然積分路 C の描き方によって答えは異なる.

から(1,1)までの距離を計算してみよう.グラフ 積分の軌跡が変化する場合, は簡単だから割愛する.

y = xの場合:

$$\begin{split} l &= \int_{(0,0)}^{(1,1)} 1 dl \\ dl &= \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2} \\ \because dy &= dx \\ &= \sqrt{2(dx)^2} = \sqrt{2} dx \\ \textbf{したがって,} \\ l &= \int_{(0,0)}^{(1,1)} 1 dl = \sqrt{2} \big[x \big]_0^1 \\ &= \sqrt{2} \end{split}$$

 $y=x^2$ の場合:

$$l = \int_{(0,0)}^{(1,1)} 1 dl$$

$$dl = \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2}$$

$$\therefore dy = 2x dx$$

$$= \sqrt{(dx)^2 + 4x^2 (dx)^2} = \sqrt{1 + 4x^2} dx$$

したがって,

$$\begin{split} l &= \int_{(0,0)}^{(1,1)} (1+4x^2)^{\frac{1}{2}} dl \\ &= \left[\frac{x(4x^2+1)^{\frac{1}{2}}}{2} + \frac{\log(2x+(4x^2+1)^{\frac{1}{2}})}{4} \right]_0^1 \\ &= 1.4789 \ (と\sqrt{2} \text{より少し長い}) \end{split}$$

(注:この積分は mupad で行った.)

パラメータtによる線積分

一般に y = f(x) の関数であれば A 点から B 点 までの距離の積分は ,それぞれの x 座標を A_x, B_x として

$$l = \int_{A_x}^{B_x} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx$$

でできる.

例えば y=x と , $y=x^2$ の場合での原点 (0,0) x=x(t), y=y(t) のようにパラメータ t で線

$$dx = \frac{dx}{dt}dt, \quad dy = \frac{dy}{dt}dt$$

として

$$t = \int_{t=t_A}^{T=t_B} \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} dt$$

として計算できる.

円の円周を求める.

一般に円周lと角度 θ の関係は半径をrとし $T l = r \theta$ である.今,単位円 r = 1 とすると, $dl = d\theta$ が成り立つ.

$$x = \cos \theta$$
 $y = \sin \theta$ $\frac{dx}{d\theta} = -\sin \theta$ $\frac{dy}{d\theta} = \cos \theta$

$$l = \int_0^{2\pi} \sqrt{(-\sin\theta)^2 + (\cos\theta)^2} d\theta$$
$$= \int_0^{2\pi} 1d\theta = [\theta]_0^{2\pi} = 2\pi$$

となる.これが複素平面だと0になる.

4. コーシーの積分定理

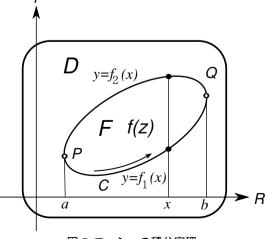


図3 コーシーの積分定理

コーシーの積分定理とは図3に示すように,複素平面において領域Fが正則関数f(z)で表わせば,その周回積分

という夢のような定理である.周回路は単一周回路であればどのような形でもよく,複素積分の演算に大活躍する.この証明にはグリーンの定理と正則関数であることを証明するコーシー・リーマンの関係式が必要になる.

グリーンの定理

グリーンの定理とは実数領域での定理で電磁力学でお目にかかるストークスの定理の 2 次元版である . $v(x,y),\ w(x,y)$ を実関数として ,以下に式を示す .

$$\int_{C} (vdx + wdy) = \iint_{F} \left(\frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \right) dxdy \dots 4-2)$$

この定理をもちいた線積分に以下の例題を見つけた 3). 複素平面で半径 1 の単位円を積分路として,以下の式を求める,答を示しておく.

$$\int_C (x+y)dx + (y^2 + x^3)dy = -\frac{\pi}{4}$$

方法は右式に対応して偏微分を求め,単位円だから $x=\cos\theta,y=\sin\theta$ にパラメータ変換して求めればよい.

上記の例は単なる数学での演習問題であるが,vをx方向の電気力線,wをy方向の電気力線とすると,右辺の偏微分の式はz方向の回転ベクトルになる.ストークスの定理はz軸を含めた3次元空間の式であり,線積分を面積分で表す式になる.さらに静電場では,電気力線に回転ベクトルがないので,積分路に関係なく始点と終点を定めれば電荷の仕事量は同じであるという結論にまで導かれる.

定理の証明は以外に簡単だから紙と鉛筆で各自確認してもらいたい.右辺の 2 項目に注目すると,図3 において,周回路C の左端の実軸座標をa,右端の座標をbとし,周回路下縁を通る関

数を $f_1(x)$, 上縁を通る関数を $f_2(x)$ とする.

$$-\iint_{F} \frac{\partial v}{\partial y} dx dy = -\int_{a}^{b} \left(\int_{f_{1}(x)}^{f_{2}(x)} \frac{\partial v}{\partial y} dy \right) dx$$

になる.() の内容をみると,ある x 座標で, $\frac{\partial v}{\partial y}$ という関数を $f_1(x)$ から $f_2(x)$ までを立てに積分している.() の外側の積分は,その積分値を横方向に a から b までを計算している.積分内に $\frac{\partial v}{\partial y}$ と名付けた関数は原関数 v が必要だったからにすぎない.

さらに積分計算を進めると

$$= -\int_{a}^{b} [v]_{f_{1}(x)}^{f_{2}(x)} dx$$

$$= -\int_{a}^{b} (v(x, f_{2}(x)) - v(x, f_{1}(x))) dx$$

$$= \int_{a}^{b} (v(x, f_{1}(x)) dx + \int_{b}^{a} (v(x, f_{2}(x)) dx)$$

と展開できる.最後の行は閉曲線 C の下縁を a から b までを関数 $f_1(x)$ に沿って線積分し,2 項目は上縁関数 $f_2(x)$ に沿って b から a までを線積分することになるから単純閉曲線 C の線積分と同じである.したがって.

$$-\iint_{F} \frac{\partial v}{\partial y} dx dy = \int_{C} v dx$$

と書ける.1 項目の計算も同様の方法で行うことができる.閉曲線 C の下端の y 座標,上端の y 座標を d とし,さらに閉曲線 C を $g_1(y), g_2(y)$ など左右に分割して,y 軸に沿って計算すればよく,

$$\iint_{F} \frac{\partial w}{\partial x} dx dy = \int_{C} w dy$$

が証明できる、この二つの式をたし合わせると

$$\int_{C} (vdx + wdy) = \iint_{F} \left(\frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \right) dxdy$$

となる.

振り返えて見ると,閉曲線 C を 2 周回っているから,2 項の式になる.また,偏微分の項が z 軸の回転ベクトルを示すのも方向性を持つ線積分のおかげである.

コーシーの積分定理の証明

著書 $^{1)}$ の説明は分かりにくいので別解を示す. 図 3 に示す x-y 平面が縦軸を虚軸にとるガウス平面であると考えると.積分路 f(z) は

$$f(z) = g(x,y) + ih(x,y)$$

と記述できる.またz = x + iyより

$$dz = dx + idy$$

である,したがって

$$\int_C f(fz) = \int_C (g+ih)(dx+idy)$$
$$= \int_C (gdx - hdy) + i \int_C (hdx + gdy)$$

である.

実数部に対してグリーンの関係式を適応させる と, -hdy を勘案して,

$$\int_{C} (gdx - hdy) = \iint_{F} \left(-\frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\partial g}{\partial y} \right) dxdy$$

となり,

虚数部に対しては,

$$\int_C (hdx + gdy) = \iint_F \left(\frac{\partial g}{\partial x} - \frac{\partial h}{\partial y}\right) dxdy$$

となる、それぞれの偏微分項を見ると、

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial g}{\partial y} \succeq \frac{\partial g}{\partial x} - \frac{\partial h}{\partial y}$$

になっている.

ここに f(x) が正則関数であれば成立するコーシー・リーマンの関係式 2-1) 式

$$\frac{\partial g}{\partial x} = \frac{\partial h}{\partial y}, \quad \frac{\partial h}{\partial x} = -\frac{\partial g}{\partial y}$$

を代入すると実数部と虚数部の偏微分項が共に 0 になる.したがって,コーシーの積分定理

は証明された.

コーシーの積分定理の応用

ガウス平面では積分路に関係なく値は一定であることを応用する.図2の積分路が実は2本だったと考えると,

$$\int_{P}^{Q} f(z)dz + \int_{Q}^{P} f(z)dz = 0$$

となる.これは

$$\int_{P}^{Q} f(z)dz = -\int_{Q}^{P} f(z)dz$$

だから当然の帰結である.

したがって,2本の積分路を膨らまして単純閉曲線Cを作ると,

$$\int_C f(z)dz = 0$$

と表示できる.

次に約束事であるが,一般に単純閉曲線は反時計回り,つまり内側を左側に見る回転を正とする.

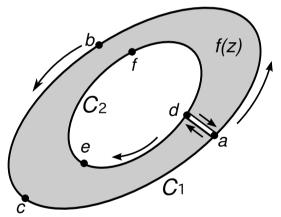


図 4 閉曲線の内部に閉曲線がある二重連結の場合

図 4 は閉曲線 C_1 の内部に閉曲線 C_2 が存在し,それらの線上および灰色で示す領域が正則領域である.一筆書きの要領で,積分路はa b c d e f d a と回る.ad 間の線は 2 本にしているが非常に近接して重複している.線積分 f(z) を示すと,

$$\int_{C_1} f(z)dz + \int_a^d f(z)dz - \int_{C_2} f(z)dz$$
$$+ \int_d^a f(z)dz = 0$$

と書ける.

$$\int_{d}^{a} f(z)dz = -\int_{a}^{d} f(z)dz$$

であり, C_2 の線積分は逆向きであることを考慮すると

が成り立つ.

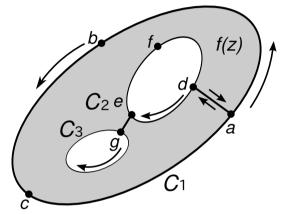


図 5 複数の単純閉曲線が内包する場合

図5に示すように複数の単純閉曲線が存在する場合でも図4と同じ要領で考えると,

$$\int_{C_1} f(z)dz = \int_{C_2} f(z)dz + \int_{C_3} f(z)dz$$

が成り立つ.さらに多くの単純閉曲線 C_n が存在しても

が成り立つ.

図4や図5に示す正則領域でない部分を含めた コーシーの積分定理は留数定理やラプラス逆変換 の考え方に応用している.

5. コーシーの積分公式

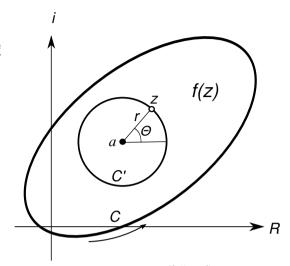


図 6 コーシーの積分公式

単純閉曲線 C とその内部は正則領域で正則関数 f(z) で満たされている.すると,その中の点a の値 f(a) は

で示される.

図 6 に示すように , 点 a を中心に半径 r の円を描き , C' とし , また円の任意の点 z を置くと , その座標は

$$z = a + re^{i\theta}$$

で表せる.上式の両辺を θ で微分すると,

$$\frac{dz}{d\theta} = \frac{da}{d\theta} + r\frac{d}{d\theta}e^{i\theta}$$
$$= 0 + ire^{i\theta}$$
$$= ire^{i\theta}$$

よって,

$$dz = ire^{i\theta}d\theta$$

となる.またコーシーの積分定理 4-3) 式より,

$$\int_{C} \frac{f(z)}{z - a} dz = \int_{C'} \frac{f(z)}{z - a} dz$$

としてもかまわない.よって,z および dz を代入すると,

$$\int_{C'} \frac{f(z)}{z - a} dz = \int_0^{2\pi} \frac{f(a + re^{i\theta})}{re^{i\theta}} ire^{i\theta} d\theta$$
$$= i \int_0^{2\pi} f(a + re^{i\theta}) d\theta$$

となる.ここでrである円の半径を0に収束させると,

$$\int_{C'} \frac{f(z)}{z - a} dz = i \int_0^{2\pi} f(a + re^{i\theta}) d\theta$$
$$= if(a) \int_0^{2\pi} d\theta = if(a) [\theta]_0^{2\pi}$$
$$= 2\pi i f(a)$$

となる.両辺を $2\pi i$ で割るとコーシーの積分公式 5-1) 式になる.(注:a は特異点でもよいが,a が C 内を移動すると全て特異点になるから,やはり正則点のほうが都合がよい.)

コーシーの積分公式はn 階微分可能で,グルサの公式とよばれている.

例えば1階微分を確かめると,

$$\begin{split} &\frac{f(a+h)-f(a)}{h} \\ &= \frac{1}{2\pi hi} \int_{C} \left\{ \frac{f(z)}{z-(a+h)} - \frac{f(z)}{z-a} \right\} dz \\ &= \frac{1}{2\pi hi} \int_{C} \frac{f(z)(z-a-z+a+h)}{\{z-(a+h)\}(z-a)} dz \\ &= \frac{1}{2\pi hi} \int_{C} \frac{f(z)h}{\{z-(a+h)\}(z-a)} dz \\ &= \frac{1}{2\pi i} \int_{C} \frac{f(z)}{\{z-(a+h)\}(z-a)} dz \end{split}$$

となる.ここで微分の定理より, $h \to 0$ に収束すると,

$$\lim_{h \to 0} \frac{f(a+h) - f(a)}{h} = \frac{1}{2\pi i} \int_C \frac{f(z)}{(z-a)^2} dz$$

と微分公式が確かめられる.

6. リウヴィルの定理

リウヴィルの定理には三つの提言がある,地味で退屈だから割愛しようと思ったが,ラプラス逆変換の演算に役立つ定理であるから説明する.

1. 整関数f(z)について,複素数平面全体で|f(z)| < Mを満たす定数M が存在すればf(z)は定数である.

整関数とは無限遠を含まない領域 D で関数 f(z) が正則であることを意味する.また f(z) が定数という意味は,その微分値が 0 であることを証明すればよい.この論理の展開方法は以後何度も使うので馴れる必要がある.

コーシーの積分公式の1階微分の式を利用する.

$$f'(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_C \frac{f(z)}{(z-a)^2} dz$$

閉曲線 C は領域 D 内の任意の点 a を中心とする任意の半径 r の円周を示す (図 6 の C'を C として読みかえる).円周上の点 z は $z=a+re^{i\theta}$ で表せる.z を θ で微分すると,

$$\frac{dz}{d\theta} = ire^{i\theta} \quad \therefore dz = ire^{i\theta}d\theta$$

である f'(a) の絶対値を計算すると,

$$|f'(a)| = \left| \frac{1}{2\pi i} \int_C \frac{f(z)}{(z-a)^2} dz \right|$$
$$= \left| \frac{1}{2\pi i} \int_0^{2\pi} \frac{f(z)}{r^2 e^{i2\theta}} ir e^{i\theta} d\theta \right|$$
$$= \left| \frac{1}{2\pi i} \int_0^{2\pi} \frac{f(z)}{r} e^{-i\theta} d\theta \right|$$

となる.|i|=1,また $|e^{-i heta}|=1$ と |f(z)< M|および $heta\geq 0$ を使うと,上式は

$$|f'(a)| \le \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left| \frac{f(z)}{r} e^{-i\theta} \right| d\theta$$

$$= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left| \frac{f(z)}{r} \right| d\theta$$

$$\le \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{M}{r} d\theta$$

$$= \frac{M}{2\pi r} \int_0^{2\pi} 1 d\theta$$

$$= \frac{M}{2\pi r} [\theta]_0^{2\pi} = \frac{M}{r}$$

となる.このとき f(z) は整関数であるから r は全ての領域 D を満たすため,非常に大きな値を選んでもよい.すると $\frac{M}{r}$ は 0 に収束し,

$$|f'(a)| = 0$$

が成り立つ . a は任意の領域を取り得るから f(z) は定数になる .

注:f(z) = az + bなどの多項式は無限遠で無限大になるから整関数とはよばない.

2. 代数学の基本定理

代数学の基本定理とは,

「関数 $f_n(z)$ が n 次 $(n \ge 1)$ の多項式である方程式 $f_n(z) = b_0 + b_1 z + \cdots + b_n z^n = 0$ において (但し, $n \ne 0$),少なくとも 1 つの複素数の解をもつ」と提言している.

解を複素数まで拡大すると当然のように思われるが著書では背理法をもちいて説明している. まず

方程式
$$f_n(z) = 0$$
 に解はない

と仮定する.とすると,複素平面上のどこでも

$$f_n(z) \neq 0$$

となる.したがって,複素関数 $f_n(z)$ を分母にもつ関数

$$g(z) = \frac{1}{f_n(z)}$$

について考えると,これは「どこにも特異点(微分できない点)を持たない正則な関数」という結論が導かれる.また, $f_n(z)$ は0 にならないので,複素平面内で |g(z)| は無限大にならず,これより大きな定数 M が存在する.

とすると,関数 g(z) はリウヴィルの定数の定理の条件を満たすので,関数 g(z) は定数であり,その逆数の $f_n(z)$ も定数になるという鵜順した結果に到達する.

これは最初の仮定,つまり $f_n(z) \neq 0$ という条件が間違っていたので,少なくとも一つの根が存在することになる.

この基本定理から, s_n が一つの根だとすると,

$$f_n(z) = (z - s_n)f_{n-1}(z)$$

と書くことができる.同じ理屈を $f_{n-1}(z)$ につい て適応すると.最終的に

$$f_n(z) = (z - s_n)(z - s_{n-1}) \cdots (z - s_1)$$

と全ての解が得られることになる.よってn次多項式は複素数の解までを含めるとn個の解全てが得られる.これを「代数学の基本定理」という.代数学の基本定理はラプラス逆変換で多用する.

3. 最大値・最小値の定理

A. 最大値の定理

関数 f(z)が閉曲線 C 上とその内部で正則であり,かつ定数でない場合には,絶対値|f(z)| は C の内部で最大値をとることはない (すなわち C 上で最大値をとる)

これは閉曲線で囲まれた範囲での複素積分を求めるときに重要な定理になる.

この証明にも背理法を使う.以下のように仮定 を作る.

|f(z)| は閉曲線 C 内部の点 a で最大値をとる

閉曲線 C として点 a を中心とする半径 r の円をとると , 偏角 θ の点の $|f(a+re^{i\theta})|$ は点 a での値より小さいので

$$|f(a) > |f(a + re^{i\theta})|$$

が成立する.また f(a) についてはコーシーの積分公式が使えるので,

$$f(a) = \frac{1}{2\pi i} \int_C \frac{f(z)}{(z-a)} dz$$

である. $z=a+re^{i\theta}$ を用いて書き直すと,

$$f(a) = \frac{1}{2\pi i} \int_0^{2\pi} \frac{f(a + re^{i\theta})}{re^{i\theta}} ire^{i\theta} d\theta$$
$$= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(a + re^{i\theta}) d\theta$$

である.この両辺の絶対値をとると,

$$|f(a)| = \left| \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(a + re^{i\theta}) d\theta \right|$$
$$\leq \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} |f(a + re^{i\theta})| d\theta$$

ここで仮説の式を取り入れると,

$$< \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} |f(a)| d\theta$$
$$= \frac{|f(a)|}{2\pi} \int_0^{2\pi} 1 d\theta$$
$$= |f(a)|$$

となり,|f(a)| < f(a) という矛盾する結果が得られた,したがって仮説は間違っていることが証明された.

B. 最小値の定理

関数f(z)が閉曲線 C 上とその内部で正則であり,かつ定数でない場合に, $f(z) \neq 0$ であれば,絶対値|f(z)| は C の内部で最小値をとることはない (すなわち C 上で最小値をとる)

最大値の定理が理解できれば最小値の定理は

$$g(z) = \frac{1}{f(z)}$$

と定義して , 同様の証明をすればよい . $f(z) \neq 0$ だから特異点の心配はない .

両定理は関数 f(z) が正則であれば , 最大値 , 最小値が共に閉曲線上に存在することを説明している .

これらリウィルの定理は、地味だから割愛しようと思った.しかし、後に出現する無限大の半径 R の積分路を求めるに非常に重要な定理であることに気がついた.複素関数論の成書ではがまんできない箇所をこの本では上手く説明している.ジョルダンの補助定理の論理的根拠になっている.

7.
$$\int_C (z-a)^n dz$$
の積分

$$\int_C (z-a)^n dz = \begin{cases} 0 & (n \neq -1) \\ 2\pi i & (n = -1) \end{cases} \dots 7-1$$

この公式は本当に重要である.n = -1の場合は

$$\int_C \frac{1}{z-a} dz = 2\pi i$$

である. コーシーの積分公式は

$$f(a) = \frac{1}{2\pi i} \int_C \frac{f(z)}{z - a} dz$$

f(z) = 1 を指定すると f(a) = 1 になるから ,

$$1 = \frac{1}{2\pi i} \int_C \frac{1}{z - a} dz$$

両辺に $2\pi i$ を掛けると与式が出来る.

 $n \geq 0$ の場合は f(z) は多項式であるため,コーシーの積分定理より 0 である.

n<-1 の場合は n o -n に読みかえて,また $z-a=re^{i heta}$ を利用して,

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{C} \frac{1}{(z-a)^{-n}} dz = \int_{0}^{2\pi} \frac{1}{r^{-n}e^{-in\theta}} ire^{i\theta} d\theta$$

$$= ir^{(n+1)} \int_{0}^{2\pi} e^{i(n+1)\theta} d\theta$$

$$= ir^{(n+1)} \left[\frac{e^{i(n+1)\theta}}{i(n+1)} \right]_{0}^{2\pi}$$

$$= r^{(n+1)} \left[\frac{e^{i(n+1)\theta}}{n+1} \right]_{0}^{2\pi}$$

$$= r^{(n+1)} \frac{e^{i(n+1)2\pi} - 1}{n+1}$$

ここで

$$e^{i(n+1)2\pi} = \cos 2(n+1)\pi + i\sin 2(n+1)\pi = 1$$

を利用すると , 上式の分子は 0 により , 与式は証 明される .

これらの積分公式は留数定理そしてラプラス逆 変換に役立つ.

8. 複素関数のテーラー展開

実数関数のテーラー展開の説明は補足0を参照してもらいたい、複素関数のテーラー展開とは任意の点f(z)の値を近傍の既知の定点f(a)とそのn階微分値を利用して推定する式である.

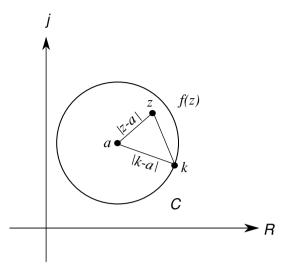


図7複素関数のテーラー展開

コーシーの積分公式は n 階微分ができるから テーラー展開は可能と思えるが , そこに素晴らし いテクニックが利用されている .

コーシーの積分方程式

から出発する.両辺の「a と z 」,右式の「z と k 」を変更しても dk で積分するのだから意味は同じである.z は定点 a の近傍の任意の点と考えればよい(図 7 参照).a を中心に円を描き,その周囲の一点を k としているが,点 z を円内に固定し,z を軸として偏心周回していると考えれば問題ない.

この式の分数について以下のように変形する.

$$\frac{1}{k-z} = \frac{1}{k-a - (z-a)}$$

$$= \frac{1}{(k-a)\left(1 - \frac{z-a}{k-a}\right)}$$

$$= \frac{1}{k-a} \times \frac{1}{1 - \frac{z-a}{k-a}}$$

すると,上式右辺の分数の分母は補足2に示す無限等比級数の和の形をしていることに気がつく. すなわち,

$$|X|<1$$
 の場合には , $\displaystyle\sum_{n=0}^{\infty}X^n=rac{1}{1-X}$

が利用できる.図 7 を確かめると |k-a| は C の 半径に,z は円周内の 1 点であるから |z-a| は確 かに 1 より小さくなる.上式を使って示すと

$$\left| \frac{z - a}{k - a} \right| < 1$$

である.したがって,元の式を展開して書き直 すと,

$$\frac{1}{k-z} = \frac{1}{k-a} \left\{ 1 + \frac{z-a}{k-a} + \left(\frac{z-a}{k-a}\right)^2 + \cdots \right\}$$
$$= \frac{1}{k-a} + \frac{z-a}{(k-a)^2} + \frac{(z-a)^2}{(k-a)^3} + \cdots$$

となる.この式をコーシーの積分公式に当てはめると,(z-a)は定数だから積分の外に置いて,

$$f(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_C \frac{f(k)}{k - a} dk + \frac{z - a}{2\pi i} \int_C \frac{f(k)}{(k - a)^2} dk + \frac{(z - a)^2}{2\pi i} \int_C \frac{f(k)}{(k - a)^3} dk + \cdots$$

となる.ここでコーシーの n 階微分の公式を見ると,

0階微分(コーシーの積分公式そのもの)

$$f^{(0)}(a) = \frac{0!}{2\pi i} \int_{C} \frac{f(z)}{(z-a)} dz$$

1階微分

$$f^{(1)}(a) = \frac{1!}{2\pi i} \int_C \frac{f(z)}{(z-a)^2} dz$$

なので, f(z) の各項は,

$$\frac{1}{2\pi i} \int_C \frac{f(k)}{(k-a)} dk = f^{(0)}(a) = f(a)$$
$$\frac{z-a}{2\pi i} \int_C \frac{f(k)}{(k-a)^2} dk = f^{(1)}(a)(z-a)$$

などの関係に気づく.したがって,f(z) は,

$$f(z) = f(a) + f'(a)(z - a) + \frac{1}{2!}f''(a)(z - a)^{2} + \dots + \frac{1}{n!}f^{(n)}(a)(z - a)^{n}$$

と書ける . a の近傍の f(z) の値を $f^n(a)$ の値で テーラー展開できたことになる .

複素関数のマクローリン展開は a=0 を代入すればよく

$$f(z) = f(0) + f'(0)z + \frac{1}{2!}f''(0)z^{2} + \dots + \frac{1}{n!}f^{(n)}(0)z^{n} + \dots$$

である.

 $e^z, \sin z, \cos z$ などの複素数の展開も容易にでき、答えを補足1に示す.オイラーの公式も簡単にできる.

9. ローラン展開

テーラー展開は正則点 a の周囲についての値 f(z) を無限等比級数で近似したが,ローラン展開は特異点 a の周囲について無限等比級数で近似する.したがって,例えば $f(z)=\frac{1}{z-3}$ などの複素関数の演算ができ,留数や極の概念,ラプラス逆変換の操作に論理的基盤になる.

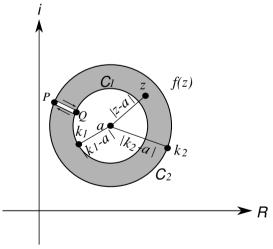


図8 複素関数のローラン展開

図 8 に示すように a を中心に外径 k_2 , 内径 k_1 の円を作成し , それぞれの周囲および挟まれた内部を正則領域とする . 外径の積分路を C_2 ,内径の積分路を C_1 として内部の点 z に対して一筆書きの要領でコーシーの積分公式を適応すると , k_2 , k_1

は一筆書きだからkに統一して,

$$f(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{C_2} \frac{f(k)}{k - z} dk - \frac{1}{2\pi i} \int_{C_1} \frac{f(k)}{k - z} dk + \frac{1}{2\pi i} \int_{P}^{Q} \frac{f(k)}{k - z} dk + \frac{1}{2\pi i} \int_{Q}^{P} \frac{f(k)}{k - z} dk + \frac{1}{2\pi i} \int_{C_2} \frac{f(k)}{k - z} dk - \frac{1}{2\pi i} \int_{C_3} \frac{f(k)}{k - z} dk$$

となる. C_1 は時計回りだから符号を - にし,PQ の積分は往復だから消去した.

3行目の1項目はテーラー展開と同じ方法で級数展開を行う.

$$\frac{1}{k-z} = \frac{1}{k-a} \times \frac{1}{1 - \frac{z-a}{k-a}}$$

を利用し,

$$\left| \frac{z - a}{k - a} \right| < 1$$

を考慮すると,

$$\frac{1}{k-z} = \frac{1}{k-a} \left\{ 1 + \frac{z-a}{k-a} + \left(\frac{z-a}{k-a}\right)^2 + \cdots \right\}$$
$$= \frac{1}{k-a} + \frac{z-a}{(k-a)^2} + \frac{(z-a)^2}{(k-a)^3} + \cdots$$

と展開できる.したがって1項目は

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{C_2} \frac{f(k)}{k - z} dk$$

$$= \frac{1}{2\pi i} \int_{C_2} \frac{f(k)}{k - a} dk + \frac{z - a}{2\pi i} \int_{C_2} \frac{f(k)}{(k - a)^2} dk$$

$$+ \frac{(z - a)^2}{2\pi i} \int_{C_2} \frac{f(k)}{(k - a)^3} dk + \cdots$$

と記述できる.ここで

$$b_n \equiv \frac{1}{2\pi i} \int_{C_2} \frac{f(k)}{(k-a)^{n+1}} dk$$

としておくと,1項目は

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{C_2} \frac{f(k)}{k - z} dk = \sum_{n=0}^{\infty} b_n (z - a)^n$$

と記述できる.

2 項目については C_1 の半径 $|k_1-a|$ と z との位置関係で工夫を要する.

$$\frac{1}{k-z} = \frac{1}{k-a - (z-a)} = \frac{-1}{(z-a)\left(1 - \frac{k-a}{z-a}\right)}$$
$$= \frac{-1}{z-a} \times \frac{1}{1 - \frac{k-a}{z-a}}$$

と記述する. すると,

$$\left|\frac{k-a}{z-a}\right| < 1$$

よって, C_1 について無限級数展開すると

$$\frac{1}{k-z} = \frac{-1}{z-a} \left\{ 1 + \frac{k-a}{z-a} + \left(\frac{k-a}{z-a}\right)^2 + \cdots \right\}$$
$$= -\frac{1}{z-a} - \frac{k-a}{(z-a)^2} - \frac{(k-a)^2}{(z-a)^3} - \cdots$$

となる.この結果を与式2項に代入すると

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{C_1} \frac{f(k)}{k - z} dk$$

$$= -\frac{1}{2\pi i (z - a)} \int_{C_1} f(k) dk$$

$$-\frac{1}{2\pi i (z - a)^2} \int_{C_1} f(k) (k - a) dk$$

$$-\frac{1}{2\pi i (z - a)^3} \int_{C_1} f(k) (k - a)^2 dk - \cdots$$

となる、ここで

$$b_{-m} \equiv \frac{1}{2\pi i} \int_{C_1} f(k)(k-a)^{m-1} dk$$
ただし $f(m=1,2,\cdots)$

としておくと,2項目は

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{C_1} \frac{f(k)}{k - z} dk = -\sum_{m=1}^{\infty} \frac{b_{-m}}{(z - a)^m}$$

と記述できる.したがって2項の和により,

$$f(z) = \sum_{n=0}^{\infty} b_n (z - a)^n + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{b_{-m}}{(z - a)^m}$$

となる.

ここで C_1,C_2 の半径を限りなく近づけると a は特異点のまま,一つの経路 C と見なすことができ,また b_{-m} についても b_n を $(0,\pm 1,\pm 2,\cdot)$ に 統合することができる.

10. 極について

ローラン展開を ∑ 記号を使わずに展開すると

$$f(z) = \dots + \frac{b_{-3}}{(z-a)^3} + \frac{b_{-2}}{(z-a)^2} + \frac{b_{-1}}{z-a} + b_0 + b_1(z-a) + b_2(z-a)^2 + \dots$$

と書ける.関数 f(z) は分子の b_{-n} のいずれか 1 つが 0 でないかぎり , z=a が特異点になる. 特異点はさらに場合分けができる.

 $b_3 \neq 0$ で $b_4 = b_5 = \cdots = 0$ の場合は3 位の極,同様に $b_2 \neq 0$ でそれ以下が0 なら2 位, $b_1 \neq 0$ なら1 位の極という.

2位の極の場合は

$$f(z) = \frac{b_{-2}}{(z-a)^2} + \frac{b_{-1}}{z-a} + b_0 + b_1(z-a) + b_2(z-a)^2 + \cdots$$
$$= \frac{b_{-2} + b_{-1}(z-a) + b_0(z-a)^2 + \cdots}{(z-a)^2}$$

と書き換えられる、このとき分子の関数を

$$h(z) = b_{-2} + b_{-1}(z-a) + b_0(z-a)^2 + \cdots$$

とすると, h(z) は点 a で正則になる.

11. 留数について

2 位の極の場合についてコーシーの積分方程式 を当てはめると ,

$$\int_{C} f(z)dz = \int_{C} \frac{b_{-2}}{(z-a)^{2}} dz + \int_{C} \frac{b_{-1}}{z-a} dz + \int_{C} b_{0} dz + \int_{C} b_{1}(z-a) dz + \cdots$$

となる.このとき, $(z-a)^n$ の積分の項で示した となり b_{-1} の項以外の項が消える.よって 法則を適応すると,ゼロでない項は

$$\int_C \frac{b_{-1}}{z-a} dz = 2\pi i b_{-1}$$

の 1 項だけであり、この b_{-1} を留数とよぶ、また

$$b_{-1} = R(a)$$

と記号化して表記する.これにより,

$$\int_C f(z)dz = 2\pi i R(a)$$

と書け、

「閉曲線Cに沿った関数f(z) の線積分」を求める には留数を求めて $2\pi i$ を掛ければよい という結論になる.

留数の求め方

関数 f(z) が 3 位の極をもつローラン展開だと する式は

$$f(z) = \frac{b_{-3}}{(z-a)^3} + \frac{b_{-2}}{(z-a)^2} + \frac{b_{-1}}{z-a} + b_0 + b_1(z-a) + b_2(z-a)^2 + \cdots$$

となる、このときの留数の項は b_{-1} で、これを引 き出すには,まず両辺に $(z-a)^3$ を掛ける.す ると,

$$(z-a)^3 f(z) = b_{-3} + b_{-2}(z-a) + b_{-1}(z-a)^2 + b_0(z-a)^3 + b_1(z-a)^4 + \cdots$$

となる、また b_{-1} に $(z-a)^2$ が付いているのでzで2階微分する.

$$\frac{d^2}{dz^2}(z-a)^3 f(z)$$

$$= \frac{d}{dz} \{b_{-2} + 2b_{-1}(z-a) + 3b_0(z-a)^2 + \cdots \}$$

$$= 2b_{-1} + 6b_0(z-a) + \cdots$$

となり, b_{-1} の項が現れる.この両辺に $z \rightarrow a$ の 極限を求めると,

$$\lim_{z \to a} \frac{d^2}{dz^2} (z - a)^3 f(z)$$

$$= \lim_{z \to a} \{2b_{-1} + 6b_0(z - a) + \cdots \}$$

$$= 2b_{-1}$$

$$b_{-1} = \frac{1}{2} \lim_{z \to a} \frac{d^2}{dz^2} \{ (z - a)^3 f(z) \}$$

となる.

n 位の極を持つローラン級数の場合も同様に $(z-a)^n$ を掛けて (-1) 階微分すればよいので, 一般に

$$R(a) = \frac{1}{(n-1)!} \lim_{z \to a} \frac{d^{n-1}}{dz^{n-1}} \{ (z-a)^n f(z) \}$$
......11-1)

の操作をすればよい.

例題:

$$f(z) = \frac{2}{z(1-z)^2}$$

極はz=0とz=1の2つがある.またz=0は 1 位の極, z=1 は2 位の極になる.

まず,z=0についての留数を求める.1位の 留数は11-1)式より,

$$R(a) = \lim_{z \to a} (z - a) f(z)$$

なので,

$$R(0) = \lim_{z \to a} \left\{ z \times \frac{2}{z(1-z)^2} \right\}$$
$$= \lim_{z \to a} \frac{2}{(1-z)^2} = 2$$

となる.

次に,z=1の2位の留数は11-1)式より,

$$R(a) = \lim_{z \to a} \frac{d}{dz} \{ (z - a)^2 f(z) \}$$

なので,

$$R(1) = \lim_{z \to 1} \frac{d}{dz} \left\{ (z - 1)^2 \frac{2}{z(1 - z)^2} \right\}$$
$$= \lim_{z \to 1} \frac{d}{dz} \left\{ \frac{2}{z} \right\} = \lim_{z \to 1} \left(-\frac{2}{z^2} \right) = -2$$

となる.

留数定理

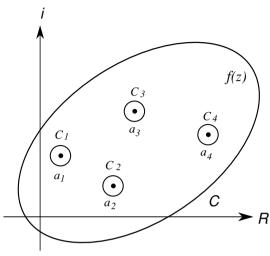


図 9 閉曲線Cの中に複数の特異点 a_1, a_2, \cdots がある.

留数定理とは図 9 に資すように C 内の正則関数 f(z) において特異点 a_1,a_2,a_3,\cdots が存在するとき積分路 C に沿った複素積分は

$$\int_C f(z)dz = 2\pi i \{ R(a_1) + R(a_2) + R(a_3) + \cdots \}$$
$$= 2\pi i \sum_{i=1}^n R(a_i)$$

というものである.

図5を見ても分かるように

$$\int_{C} f(z)dz = \int_{C_{1}} f(z)dz + \int_{C_{2}} f(z)dz + \cdots$$
$$+ \int_{C_{n}} f(z)dz$$

の関係である.また

$$\int_{C_z} f(z)dz = 2\pi i R(a_j)$$

より定理は容易に得られる.

12. 複素関数の積分例

 $A. \sin \theta$ や $\cos \theta$ を含む0 から 2π までの積分

$$\int_0^{2\pi} \frac{1}{4 + 2\cos\theta} d\theta$$

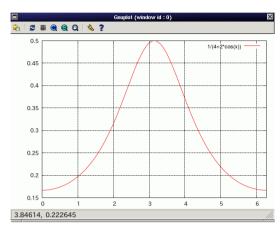


図
$$10 \; y = \int_0^{2\pi} rac{1}{4 + 2\cos heta} d heta$$
のグラフ

この関数のグラフを図 10 に示す.この関数は簡単な積分公式では思いつかないが,

$$z = e^{i\theta}$$

に変換すると,解法が見えて来る.

$$\frac{dz}{d\theta} = ie^{i\theta}$$
$$\therefore d\theta = \frac{1}{ie^{i\theta}}dz = \frac{-i}{z}dz$$

もう一つ,

$$\cos\theta = \frac{e^{i\theta} + e^{-i\theta}}{2} = \frac{1}{2} \left(z + \frac{1}{z} \right)$$

を与式に代入すると,

$$\int_0^{2\pi} \frac{1}{4+2\cos\theta} d\theta = \int_C \frac{-i}{z\left\{4+\left(z+\frac{1}{z}\right)\right\}} dz$$
$$= \int_C \frac{-i}{z^2+4z+1} dz$$

と単位円を回る線積分に変換できる.分母の2次 式の根を求めると,

$$z^2 + 4z + 1 = 0$$

より,2次方程式を解くと

$$z = -2 \pm \sqrt{3}$$
つまり $z = -0.268$ と -3.732 になる .

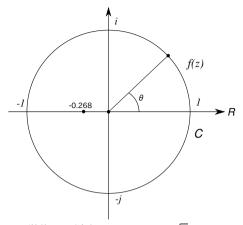


図 11 単位円に対する $z=-2+\sqrt{3}=-0.268$ の特異点

ここで半径 1 の円内にある特異点は図 11 に示すように $z=-2+\sqrt{3}$ だけ , つまり 1 位の留数定理が使える . したがって .

$$\begin{split} & \int_C \frac{-i}{z^2 + 4z + 1} dz \\ &= 2\pi i R (-2 + \sqrt{3}) \\ &= \lim_{z \to -2 + \sqrt{3}} \left[2\pi i (z - (-2 + \sqrt{3})) \right. \\ &\times \frac{-i}{(z - (-2 + \sqrt{3}))(z - (-2 - \sqrt{3}))} \right] \\ &= \frac{2\pi}{-2 + \sqrt{3} - (-2 - \sqrt{3})} = \frac{\pi}{\sqrt{3}} \end{split}$$

が解である.

参考
$$\int_0^{2\pi} f(\cos \theta, \sin \theta) d\theta$$
 の場合 $z = e^{i\theta}$ で変数変換を行い、

$$\cos \theta = \frac{e^{i\theta} + e^{-i\theta}}{2} = \frac{1}{2} \left(z + \frac{1}{z} \right)$$
$$\sin \theta = \frac{e^{i\theta} - e^{-i\theta}}{2i} = \frac{1}{2i} \left(z - \frac{1}{z} \right)$$

の関係を使う.

 \mathbf{B} . 実数軸の $-\infty$ から $+\infty$ までの有理関数の積分

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{x^2 + 4} dx$$

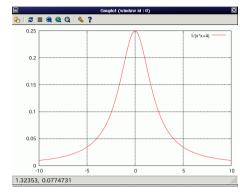


図
$$12$$
 関数 $y=\int_{-\infty}^{\infty}rac{1}{x^2+4}dx$ のグラフ

与式のグラフを図 12 に示す.変数を実数 x から複素数 z に拡大して考える.分母は

$$0 = z^2 + 4 = (z + 2i)(z - 2i)$$

となり, z=2iと-2iが特異点になる.

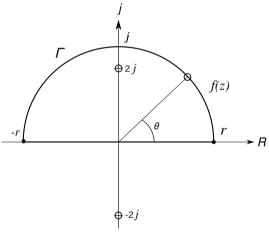


図 13 半円 Γ を含む積分路 Cのグラフ

図 13 に示すように半径 r>2 の半円を作り積分路半円 Γ からなる積分路 C を考える.積分路は

$$\int_C \frac{1}{z^2 + 4} dz = \int_{-r}^r \frac{1}{z^2 + 4} dz + \int_{\Gamma} \frac{1}{z^2 + 4} dz$$

となる。

戦略は,1)1 位の極をもつ周回路の積分は求められる。2) 実軸 -r から r の Γ 半球弧の積分が無限大に拡張されたときに 0 になることを証明。3) そうなれば左辺の周回路の積分値が解答になる.

1) 周回路の積分値.

1 位の極であるから,

$$\int_C \frac{1}{z^2 + 4} dz = 2\pi i R(2i)$$

である.11-1) 式を利用して,

$$R(2i) = \lim_{z \to 2i} (z - 2i) \frac{1}{z^2 + 4}$$

$$= \lim_{z \to 2i} (z - 2i) \frac{1}{(z - 2i)(z + 2i)}$$

$$= \lim_{z \to 2i} \frac{1}{z + 2i} = \frac{1}{4i}$$

したがって.

$$\int_C \frac{1}{z^2 + 4} dz = 2\pi i R(2i) = \frac{2\pi i}{4i} = \frac{\pi}{2}$$

となる.

2) 半円 Г の積分値.

z に対して $z=re^{i\theta}$ と変換すると , dz は

$$\frac{dz}{d\theta} = r\frac{d}{d\theta}e^{i\theta}$$
$$= ire^{i\theta}$$

となる.これらの結果を半円 Γ の積分に代入すると,

$$\begin{split} \int_{\Gamma} \frac{1}{z^2 + 4} dz &= \int_{0}^{\pi} \frac{1}{z^2 + 4} i r e^{i\theta} d\theta \\ &= \int_{0}^{\pi} \frac{1}{r^2 e^{2i\theta} + 4} i r e^{i\theta} d\theta \\ &= \int_{0}^{\pi} \frac{1}{r e^{i\theta} + \frac{4}{\pi} e^{-i\theta}} i d\theta \end{split}$$

となる.この両辺の絶対値をとると,

$$\left| \int_{\Gamma} \frac{1}{z^2 + 4} dz \right| \le \int_{0}^{\pi} \left| \frac{1}{re^{i\theta} + \frac{4}{r}e^{-i\theta}} i \right| d\theta$$
$$\le \int_{0}^{\pi} \left| \frac{1}{re^{i\theta} + \frac{4}{r}e^{-i\theta}} \right| d\theta$$

i の絶対値は 1 だから上記の結果となる . $r \to \infty$ になると $, {4\over r}$ は無限に 0 に近づくので ,

$$\lim_{r \to \infty} \int_0^{\pi} \left| \frac{1}{re^{i\theta} + \frac{4}{r}e^{-i\theta}} \right| d\theta = \lim_{r \to \infty} \int_0^{\pi} \left| \frac{1}{re^{i\theta}} \right| d\theta$$

$$= \lim_{r \to \infty} \int_0^{\pi} \frac{1}{|r|} \frac{1}{|e^{i\theta}|} d\theta$$

$$= \lim_{r \to \infty} \int_0^{\pi} \frac{1}{r} d\theta$$

$$= \lim_{r \to \infty} \frac{1}{r} \int_0^{\pi} 1 d\theta$$

$$= \lim_{r \to \infty} \frac{\pi}{r} = 0$$

となり,半円 Γ の値は0となり,解は

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{x^2 + 4} dx = \frac{\pi}{2}$$

となる.

C. 有理関数のフーリエ変換型積分

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{iax}}{x-i} dx$$
 (a は正の実数)

 e^{iax} は $e^{iw\theta}$ に読みかえればフーリェ変換そのものに気づく.被積分関数はもうグラフに表せない. x を複素数 z にまで拡張して考える.

$$\int_C \frac{e^{iaz}}{z-i} dz = \int_{-r}^r \frac{e^{iaz}}{z-i} dz + \int_\Gamma \frac{e^{iaz}}{z-i} dz$$

にして,-r からr までの実軸と半円 Γ の周回路を考え, $\pm r$ を無限大にひき延ばす.特異点はi だけである.考え方は例題B. と同じである.

1) 周回路の積分を求める.

$$\int_C \frac{e^{iaz}}{z - i} dz = 2\pi i R(i)$$

$$= \lim_{z \to i} \left\{ 2\pi i (z - i) \frac{e^{iaz}}{z - i} \right\}$$

$$= \lim_{z \to i} (2\pi i e^{iaz})$$

$$= 2\pi i e^{-a}$$

2) 半円 Γ の周回路がゼロであることの証明.

z に対して $z=re^{i\theta}$ とすると, $dz=ire^{i\theta}d\theta$ となる.この両式を代入すると.

$$\int_{\Gamma} \frac{e^{iaz}}{z-i} dz = \int_{0}^{\pi} \frac{e^{iaz}}{z-i} i r e^{i\theta} d\theta$$

となる $.e^{i\theta}$ をオイラーの公式に変換すると ,

$$= \int_0^{\pi} \frac{e^{iar(\cos\theta + i\sin\theta)}}{z - i} ire^{i\theta} d\theta$$
$$= \int_0^{\pi} \frac{1}{z - i} ire^{-ar\sin\theta} e^{i(ar\cos\theta + \theta)} d\theta$$

となる.ここで絶対値を計算すると,

$$\left| \int_0^\pi \frac{1}{z - i} i r e^{-ar \sin \theta} e^{i(ar \cos \theta + \theta)} d\theta \right|$$

$$\leq \left| \int_0^\pi \frac{1}{|z - i|} |i| |r e^{-ar \sin \theta}| |e^{i(ar \cos \theta + \theta)}| d\theta$$

となる.

 $|i|=1, |re^{-ar\sin\theta}|=re^{-ar\sin\theta}, |e^{i(ar\cos\theta+\theta)}|=1$ の関係を使うと,

$$= \int_0^\pi \frac{r}{|re^{i\theta} - i|} e^{-ar\sin\theta} d\theta$$

となる $r \to \infty$ の場合 , 分母は

$$|re^{i\theta} - i| \simeq r$$

になるので,

$$\frac{r}{|re^{i\theta}-i|}\simeq 1$$

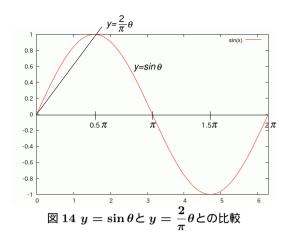
になる. そこで1の代わりに2にして,

$$\lim_{r \to \infty} \int_0^{\pi} \frac{r}{|re^{i\theta} - i|} e^{-ar\sin\theta} d\theta$$
$$< \lim_{r \to \infty} 2 \int_0^{\pi} e^{-ar\sin\theta} d\theta$$

と書いてもよい.積分路0から π までを $\frac{\pi}{2}$ で分割し,対称性を考慮すると,

$$\int_0^{\pi} e^{-ar\sin\theta} d\theta = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-ar\sin\theta} d\theta$$

であるから, $e^{-ar\sin\theta}$ について考察する.



単純に $\sin\theta$ と $\frac{2}{\pi}\theta$ を比較すると,図 14 に示すように,常に 2θ

$$\frac{2\theta}{\pi} \le \sin \theta$$

であるため指数関係は

$$e^{-ar\sin\theta} < e^{-ar\frac{2\theta}{\pi}}$$

になる.したがって,

$$2\int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-ar\sin\theta} d\theta < 2\int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-ar\frac{2\theta}{\pi}} d\theta$$

の関係が得られる.この不等式の右辺は積分できて,

$$2\int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-ar\frac{2\theta}{\pi}} d\theta = -\frac{2}{ar\frac{\pi}{\pi}} \left[e^{-ar\frac{2\theta}{\pi}} \right]_0^{\frac{\pi}{2}}$$
$$= \frac{\pi}{ar} (1 - e^{-ar})$$

よって、ここまでの関係をまとめると、

$$\lim_{r \to \infty} \left| \int_{\Gamma} \frac{e^{iaz}}{z - i} dz \right| < \lim_{r \to \infty} \left\{ \frac{2\pi}{ar} (1 - e^{-ar}) \right\} = 0$$

なぜなら,右辺の分母のrは無限大に,分子の e^{-ar} は無限小になるためである.

よって ,1) の留数定理で得た解が求める答えになる .

半円 Γ の周積分の0への収束証明に処理可能なより大きな関数をもちいて、それでも0に収束す

るという理屈,種々のテクニックがあるものだと 感心させられる.

なお,半円の積分路 Γ の半径 R を無限大にすると,周回路の積分が 0 になることはジョルダンの補助定理とよばれている.

D. 実数軸 0 から ∞までの積分

$$\int_0^\infty \frac{\sin x}{x} dx$$
 を求める .

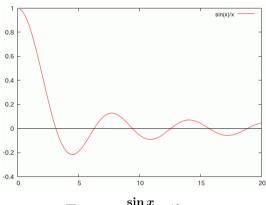


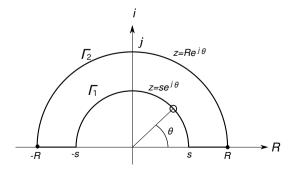
図 $15 \; y = rac{\sin x}{x}$ のグラフ

関数は図 15 のように美しく,被積分関数の 0 での値は大学入試でよく出題される.原点に特異点がある.この解法はとても気がつかない.難解である.

被積分関数を

$$\frac{e^{iz}}{z} = \frac{\cos z + i\sin z}{z}$$

と拡大解釈して,指数表示を三角関数に変換する.



積分路は図16に示すように半径rとRを作成し,コーシーの積分定理を以下のようにする.

$$0 = \int_{s}^{R} \frac{e^{iz}}{z} dz + \int_{\Gamma_{2}} \frac{e^{iz}}{z} dz + \int_{-R}^{-s} \frac{e^{iz}}{z} dz$$
$$- \int_{\Gamma_{1}} \frac{e^{iz}}{z} dz$$

 Γ_2 は反時計まわりだから + , Γ_1 は時計回りだから - の符号になる.この条件で $R \to \infty, \ s \to 0$ にすると,1 項と 3 項の和の半分が求める積分値になる.

右辺の 2 項 Γ_2 について , $R\to\infty$ にすると , 前 項例題 C. に示したフーリエ型積分の半円に似て , a=1, 分母の $z-i\simeq z$ を考慮すると ,

$$\lim_{R \to \infty} \int_{\Gamma_2} \frac{e^{iz}}{z} dz = 0$$

になる.

右辺 4 項については , 半円 Γ_1 の変数 z を $z=se^{i\theta}$ に置き換えると

$$\int_{\Gamma_2} \frac{e^{iz}}{z} dz = \int_0^{\pi} \frac{e^{iz}}{z} ise^{i\theta} d\theta$$
$$= i \int_0^{\pi} e^{is(\cos\theta + i\sin\theta)} d\theta$$

となり , $s \to 0$ のときには指数関数の指数が 0 になるので ,

$$\lim_{s \to 0} \int_{\Gamma_1} \frac{e^{iz}}{z} dz = i \int_0^{\pi} 1 d\theta$$
$$= i[\theta]_0^{\pi} = i\pi$$

となる.

よって, $R \to \infty, s \to 0$ の条件でコーシーの 積分定理を整理すると,

$$0 = \lim_{R \to \infty, s \to 0} \int_{s}^{R} \frac{e^{iz}}{z} dz + \lim_{R \to \infty, s \to 0} \int_{-R}^{-s} \frac{e^{iz}}{z} dz - i\pi$$
$$\therefore i\pi = \lim_{R \to \infty, s \to 0} \int_{s}^{R} \frac{e^{iz}}{z} dz + \lim_{R \to \infty, s \to 0} \int_{-R}^{-s} \frac{e^{iz}}{z} dz$$

となる.右辺2項で $t \equiv -z$ の変数変換を行うと,

$$\frac{dt}{dz} = -1$$

よって,

$$\int_{-R}^{-s} \frac{e^{iz}}{z} dz = \int_{R}^{s} \frac{e^{-it}}{t} dt$$

実数軸の積分路の方向を逆にすると

$$= -\int_{s}^{R} \frac{e^{-it}}{t} dt$$

これは変数変換を元の z にしても同じなので,

$$\begin{split} i\pi &= \lim_{R \to \infty, s \to 0} \int_s^R \frac{e^{iz}}{z} dz - \lim_{R \to \infty, s \to 0} \int_s^R \frac{e^{iz}}{z} dz \\ &= \lim_{R \to \infty, s \to 0} \int_s^R \frac{e^{iz} - e^{-iz}}{z} dz \\ &= 2i \lim_{R \to \infty, s \to 0} \int_s^R \frac{\sin z}{z} dz \\ &\because \sin z = \frac{e^{iz} - e^{-iz}}{2i} \end{split}$$

よって,

$$\lim_{R \to \infty, s \to 0} \int_{s}^{R} \frac{\sin z}{z} dz = \frac{\pi}{2}$$

になる.

13. ラプラス逆変換

ラプラス変換は

$$F(s) \equiv \mathscr{L}[f(t)] = \int_0^\infty f(t)e^{-st}dt \dots 13\text{-}1)$$

と定義されている.

ラプラス逆変換はブロムウィッチ積分でおこな える.

ブロムウィッチ積分は

$$\begin{split} f(t) = & \mathcal{L}^{-1}[F(S)] = \frac{1}{2\pi i} \int_{P-i\infty}^{P+i\infty} F(S) e^{st} ds \\ = & R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \\ (ただし, S = P + i\alpha(P, \alpha : 実数) \\ (R_k = Res[F(S)e^{st}] \quad (k = 1, 2, 3 \cdots) \end{split}$$

つまり,sはs>0の実数でよかったが,ブロムウィッチ積分のSは複素数になる.そして,図

17 に示すように x 軸上の P 点を虚数の $\pm \infty$ まで引き伸ばし,その左側平面を積分路にして,その留数を求めている.この計算は半径 R の円に

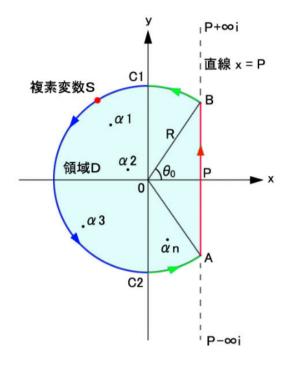


図 17 ブロムウィッチによるラプラス逆変換 4)

ついて, B,C_1,C_2,A の扇型の積分路をもちいて $F(S)e^{st}$ の積分を行う.詳細は省略するが,R 半 径を無限大にすると扇型は 0 になり,P 点を通過する線分 AB は $\pm\infty$ になる.コーシーの積分定理より,特異点 $\alpha_1,\alpha_2\cdots$ の留数を求めることになる.ここにジョルダンの補助定理が多用されている.

ラプラス変換と逆変換

例 1 f(t) = 1 ラプラス変換:

$$\mathcal{L}[1](s) = \int_0^\infty e^{-st} dt$$
$$= \left[-\frac{1}{s} e^{-st} \right]_0^\infty$$
$$= \left(0 - \left(-\frac{1}{s} \right) \right) = \frac{1}{s}$$

ラプラス逆変換:

$$F(s) = \frac{1}{s}$$

特異点: $s_1 = 0$ で 1 位の極 ローラン級数に展開すると

$$e^{st}\frac{1}{s} = \frac{a_{-1}}{s} + a_0 + a_1s + a_2s^2 + \cdots$$

両辺にsをかけると,

$$e^{st} = a_{-1} + a_0 s + a_1 s^2 + a_2 s^3 + \cdots$$

となる. s に留数の極限を求めると,

$$\lim_{s \to 0} e^{st} = \lim_{s \to 0} a_{-1} + a_0 s + a_1 s^2 + \cdots$$

したがって, $a_{-1} = 1$ となり,

$$f(t) = 1$$

がラプラス逆変換の答えである.

例 2 f(t) = t ラプラス変換:

$$\mathcal{L}[t](s) = \int_0^\infty t e^{-st} dt$$

$$= \int_0^\infty t \left(-\frac{1}{s} e^{-st} \right)' dt$$

$$= \left[t \left(-\frac{1}{s} e^{-st} \right)' \right]_0^\infty + \frac{1}{s} \int_0^\infty e^{-st} dt$$

$$= 0 + \frac{1}{s} \left[-\frac{1}{s} e^{-st} \right]_0^\infty = \frac{1}{s^2}$$

ラプラス逆変換:

$$F(s) = \frac{1}{s^2}$$

特異点: $s_1 = s_2 = 0$ 二重根だから 2 位の極ローラン級数に展開すると,

$$e^{st} \frac{1}{s^2} = \frac{a_{-2}}{s^2} + \frac{a_{-1}}{s} + a_0 + a_1 s + a_2 s^2 + \cdots$$

両辺に s^2 をかけて,s で微分する.

$$\frac{d}{ds}s^{2}e^{st}\frac{1}{s^{2}} = a_{-2} + a_{-1}s + a_{0}s^{2} + a_{1}s^{3} + \cdots$$

$$\frac{d}{ds}e^{st} = \frac{d}{ds}\{a_{-2} + a_{-1}s + a_{0}s^{2} + a_{1}s^{3} + \cdots\}$$

$$te^{st} = a_{-1} + 2a_{0}s + 3a_{1}s^{2} + \cdots$$

となる. s に留数の極限を求めると,

$$\lim_{s \to 0} t e^{st} = \lim_{s \to 0} a_{-1} + 2a_0 s + 3a_1 s^2 + \cdots$$

したがって, $a_{-1} = t$ となり,

$$f(t) = t$$

がラプラス逆変換の答えである.

例 $3 f(t) = e^{-at}$

ラプラス変換:

$$\mathcal{L}[e^{-at}](s) = \int_0^\infty e^{-at} e^{-st} dt$$
$$= \int_0^\infty e^{-(s+a)t} dt$$
$$= \left[-\frac{1}{s+a} e^{-(s+a)t} \right]_0^\infty = \frac{1}{s+a}$$

ラプラス逆変換:

$$F(s) = \frac{1}{s+a}$$

特異点: $s=-a\;1$ 位の極である. ローラン級数に展開すると,

$$e^{st} \frac{1}{s+a} = \frac{a_{-1}}{s+a} + a_0 + a_1(s+a) + a_2(s+a)^2 + \cdots$$

両辺に (s+a) をかけると,

$$e^{st} = a_{-1} + a_0(s+a) + a_1(s+a)^2 + a_2(s+a)^3 + \cdots$$

となる. s に留数の極限を求めると,

$$\lim_{s \to -a} e^{st} = \lim_{s \to -a} a_{-1} + a_0(s+a) + a_1(s+a)^2 + \cdots$$

したがって, $a_{-1}=e^{-at}$ となり,

$$f(t) = e^{-at}$$

がラプラス逆変換の答えである.

例 $4 f(t) = e^{-iat}$ ラプラス変換:

$$\mathcal{L}[e^{-iat}](s) = \int_0^\infty e^{-iat} e^{-st} dt$$

$$= \int_0^\infty e^{-(s+ia)t} dt$$

$$= \left[-\frac{1}{s+ia} e^{-(s+ia)t} \right]_0^\infty$$

$$= \frac{1}{s+ia} = \frac{s}{s^2+a^2} - \frac{a}{s^2+a^2}i$$

気づかれたと思うが、 $e^{-iat} = \cos at - i\sin at$ したがって,実数項,虚数項を区分すると,

$$\mathcal{L}[\cos at] = \frac{s}{s^2 + a^2}$$
$$\mathcal{L}[\sin at] = \frac{a}{s^2 + a^2}$$

となる. 文献 2) では複素指数を使わずに部分求 積を二度繰り返して,出来上がった方程式から解 を求めた, 複素積分を用いると容易に解ける.

ラプラス逆変換:

$$F(s) = \frac{1}{s + ai}$$

特異点:s = -ai で 1 位の極である. ローラン級数に展開すると,

$$e^{st} \frac{1}{s+ai} = \frac{a_{-1}}{s+ai} + a_0 + a_1(s+ai) + a_2(s+ai)^2 + \dots$$
 4. http://satoonsei.at.webry.info/201612

両辺に (s+ai) をかけると,

$$e^{st} = a_{-1} + a_0(s+ai) + a_1(s+ai)^2 + a_2(s+ai)^3 + \cdots$$

となる.sに留数の極限を求めると.

$$\lim_{s \to -ai} e^{st} = \lim_{s \to -ai} a_{-1} + a_0(s+ai) + a_1(s+ai)^2 + \cdots$$

したがって, $a_{-1} = e^{-ait}$ となり,

$$f(t) = e^{-iat}$$

がラプラス逆変換の答えである.

おわりに

ラプラス変換とその逆変換の理屈を求めて複素 関数論の入門書を読んだが, なぜブロムウィッチ の+のP点から-領域の複素積分でラプラス逆変 換できるかという本質的な理屈は分からず、未消 化のままである.しかし,その複素積分法は竹内 書だけで十分理解できた、もうラプラス変換表を 見る必要はなくなったつもりでいる.

コーシーの積分定理の威力はすばらしいもので. 積分路に左右されることなく始点と終点が同じ値 が得られる.複素数とは不思議な世界である.

BLUE BACKS の本書のよい所は網羅的に書か れている一般教科書では理解出来ない高いハード ルを実に上手く取捨選択,説明して読者を納得さ せる所にある、年老いた小生でも今後の生活に楽 しみを覚えたように思う、繰り返すが、紙と鉛筆 を用意して,一読を勧める名著である.

参考文献

- 1. 竹内 淳: 高校数学でわかる複素関数. 講談社,2009.
- 2. 田中義文: フーリエ級数・フーリエ変換・ラプラス変 換.麻酔・集中治療とテクノロジー 2017, p96-117, 日本麻酔・集中治療テクノロジー学会 京都 2019.
- 3. グリーンの定理の証明と意味と例題: https://www.youtube.com /watch?v=PMV_MsJTFxw
- /article_3.html

補足 0:テーラー展開

ある関数 f(x) が $x = x_0$ の近傍で,

$$f(x) = a + b(x - x_0) + c(x - x_0)^2 + d(x - x_0)^3 + \cdots$$

で表せると仮定する $x = x_0$ を代入すると a の 値は $f(x_0)$ になる.

上式を微分すると

$$f'(x_0) = b + 2c(x - x_0) + 3d(x - x_0)^2 + \cdots$$

となり,右式のxに x_0 を代入すると $f'(x_0) = b$ となる.さらに微分を続けると,

$$f''(x_0) = 2c + 3 \times 2d(x - x_0) + \cdots$$

となり,

$$f''(x_0) = 2c$$
$$c = \frac{f''(x_0)}{2}$$

となる.この微分操作を繰り返すと,

の多項式ができる.これをテーラー展開という. 特に $x_0 = 0$ の場合は,

$$f(x) = f(0) + \frac{1}{1!}f'(0) + \frac{1}{2!}f''(0) + \cdots$$

と簡単な式となり,これをマクローリン展開という.

補足1:オイラーの公式

 e^x , $\sin x$, $\cos x$ をテイラー展開すると,

$$e^{x} = 1 + \frac{x}{1!} + \frac{x^{2}}{2!} + \frac{x^{3}}{3!} + \cdots$$

$$\sin x = x - \frac{x^{3}}{3!} + \frac{x^{5}}{5!} + \cdots$$

$$\cos x = 1 - \frac{x^{2}}{2!} + \frac{x^{4}}{4!} + \cdots$$

となる.ここで e^x のxをixにすると

$$e^{ix} = 1 + \frac{x}{1!} + \frac{(ix)^2}{2!} + \frac{(ix)^3}{3!} + \cdots$$

書き直すと

$$e^{ix} = 1 + \frac{x}{1!}i - \frac{x^2}{2!} - \frac{x^3}{3!}i + \cdots$$

$$= \left(1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \cdots\right)$$

$$+ i\left(x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \cdots\right)$$

$$= \cos x + i\sin x$$

となる.

補足 2:無限等比級数の和 等比級数の和を ,

$$S_n = a + ar + ar^2 + ar^3 + \dots + ar^{n-1}$$

 $rS_n = ar + ar^2 + ar^3 + ar^4 + \dots + ar^n$

両辺をそれぞれ引くと,

$$S_n - rS_n = a - ar^n$$

になり.したがって,

$$s_n = \frac{a(1-r^n)}{1-r}$$

が得られる . |r| < 1 の場合 ,

$$S = \lim_{n \to \infty} \frac{a(1 - r^n)}{1 - r} = \frac{a}{1 - r}$$

となる.

第 36 回日本麻酔・集中治療テクノロジー学会 会長: 内田 整 (千葉県こども病院 麻酔科)

会期: 2018 年 12 月 1 日 (土) 会場: 津都ホテル (三重県津市)

プログラム

8:25~8:30

開会挨拶 内田 整 (千葉県こども病院 麻酔科)

8:30~10:30 シンポジウム 1

「JSA-PIMS とどう付き合うか?」

座長:内田 整 (千葉県こども病院 麻酔科)

基調講演「JSA PIMS の起源と想い」

讃岐美智義 (広島大学病院 麻酔科)

S1-1 麻酔科学会の立場から

澤 智博 (帝京大学医学部附属麻酔科学講座 帝京大学医療情報システム研究センター)

S1-2 ユーザー (管理者) の立場から

星 拓男 (茨城県立中央病院)

S1-3 JSA-PIMS ユーザー(医員)の立場から

山本俊介 (大阪大学大学院医学系研究科 麻酔・集中治療医学教室)

S1-4 メーカーの立場から

小倉正樹 (フィリップス・ジャパン ヘルステック事業部)

10:30 ~ 10:00

テクノロジーラウンド

モデレーター 坪川恒久

11:00 ~ 12:00

一般演題 1

座長: 重見研司 (福井大学医学部 器官制御医学講座麻酔・蘇生学)

1-1 バルカン半島への病院運営と医療技術の支援

湘南藤沢徳洲会病院 麻酔科痛みセンター 菅井直介 他

- 1-2 地理情報システム Geographic Information System を用いた麻酔科医マンパワー解析方法論 京都府立医科大学 麻酔科学教室 佐和貞治
- 1-3 手術室でも使える翻訳アプリの比較検討

成尾整形外科病院 野上俊光 他

- 1-4 paperChart で複数のモニター機器を効率的に利用するための汎用モジュールの作成 岡山ろうさい病院 麻酔科 斎藤智彦
- 1-5 人体の血管内血流は螺旋状に回転して流れる

金沢医療センター 麻酔科 横山博俊

1-6 CT 画像からの気道レプリカ作成 逆転の発想

埼玉医科大学病院 麻酔科 岩瀬良節 他

1-7 心肥大で見られるストレイン型 T 波の発生機序

京都府立医科大学 麻酔科学教室 田中義文

12:10 ~ 13:10

ランチョンセミナー (共催:コヴィディエンジャパン株式会社)

「パルスオキシメータのテクノロジー」

座長: 萩平 哲 (関西医科大学 麻酔科学講座)

LS パルスオキシメータの脱コモディティ ~ プレチスモグラフィとオキシメータ~

中村隆治 (広島大学病院 手術部)

13:10~13:30 総会

13:30 ~ 14:30

特別講演

座長:橋本 悟(京都府立医科大学 集中治療部) 超高感度スマート圧電振動センサ AYA-P の医療応用 石黒 隆 (太陽誘電(株)機能デバイス開発部)

15:00 ~ 16:00

一般演題 2

座長:斎藤智彦(岡山ろうさい病院 麻酔科)

2-1 全身麻酔下声門上器具使用時の麻酔回路内呼吸音モニタリングの有用性 千葉大学医学部附属病院 麻酔・疼痛・緩和医療科 石橋克彦 他

2-2 呼吸音連続可視化モニタリングの紹介と手術室での呼吸状態評価の可能性 広島大学病院 麻酔科 讃岐美智義 他

2-3 機械学習により BIS 値を推定する試み

京都中部総合医療センター 麻酔科 林 和子

2-4 全静脈麻酔下で薬物相互作用を用いて求めた個体ごとの必要レミフェンタニル濃度の特徴福井大学学術研究院 医学系部門医学領域器官制御医学講座 麻酔・蘇生学分野 松木悠佳 他

2-5 当院におけるマニュアル TCI の試み

旭川医科大学 麻酔科蘇生科 島田舞衣 他

2-6 ロボット支援下前立腺摘出術の麻酔で上下肢にクリアサイトシステムを使用した 1 症例 三重大学医学部附属病院 臨床麻酔部 前澤 貴 他

2-7 人工心肺中に使用した揮発性麻酔薬投与濃度と自己肺呼吸再開時の呼気終末濃度に大きな乖離を認めるのはなぜか?

三重大学 臨床麻酔部 住吉美穂 他

16:10 ~ 17:30

シンポジウム 2

「展示会で探す」これからの麻酔で使えそうなテクノロジー」

座長:讃岐美智義 広島大学病院 麻酔科

S2-1 ウェアラブル EXPO で見つけたテクノロジー

森田知孝 千葉県こども病院 麻酔科

S2-2 AI・人工知能 EXPO で見つけたテクノロジー

增井健一 昭和大学医学部 麻酔科学講座

S2-3 CEATEC で見つけたテクノロジー

片山勝之 手稲渓仁会病院 麻酔・集中治療室

11月30日(金)17:00~18:40

イブニングセミナー

「麻酔器の新しいテクノロジー」

座長:亀井政孝(三重大学医学部附属病院 臨床麻酔部)

共催:ドレーゲルジャパン株式会社

フクダ電子株式会社

日本光電工業株式会社

GE ヘルスケア・ジャパン株式会社

ES-1 術中肺保護をサポートするドレーゲルのテクノロジー

木本 進 (ドレーゲルジャパン株式会社 マーケティング部)

ES-2 FLOW-i 麻酔システムのコアテクノロジー

池野周平(ゲティンゲグループ・ジャパン株式会社 アキュート・ケア・セラピー VS/CS/CC 事業部)

ES-3 気化器作ってみました!!

荻野芳弘 (日本光電工業株式会社 呼吸器・麻酔器事業本部)

ES-4 CarestationTM Insights ~ A Brilliant Industrial Ecosystem~ 宮 由希子(GE ヘルスケア・ジャパン(株) ライフケアソリューション本部)

抄録抜粋

一般演題 2

2-6 ロボット支援下前立腺摘出術の麻酔で上下肢にクリアサイトシステムを使用した 1 症例

三重大学医学部附属病院 臨床麻酔部 1,三重県立総合医療センター 麻酔科 2

前澤 貴 1, 松成泰典 1, 境 倫宏 1, 大内由貴 2, 伊藤芳彰 1, 亀井政孝 1

【初めに】載石位は主に会陰部や下腹部に使用される体位であるが,合併症として下肢のコンパートメント症候群が知られている.コンパートメント症候群は恒久的な神経障害や横紋筋融解症に発展する可能性があるため, 予防が重要である.

当院でもロボット支援下前立腺全摘出術 (RALP) 術後に下腿コンパートメント症候群を発症した症例があり, その対策を模索している.今回我々は RALP の手術中にクリアサイトシステムのフィンガーカフを上下肢に装着し,上肢の血流と下肢の血流を比較することで下肢灌流のモニタリングを試みた.

【症例】67歳,男性.身長 165.4cm,体重 62.3kg.既往歴は胃潰瘍のみであった.前立腺癌に対してロボット支援下腹腔鏡下前立腺摘出術が予定された.麻酔は硬膜外麻酔併用全身麻酔とした.血圧モニタリングとして右橈骨動脈に観血的動脈圧ラインを挿入し,上下肢にクリアサイトシステムのフィンガーカフを装着した.麻酔導入後,気腹開始後,頭低位後,頭低位解除後,気腹終了後の上下肢のクリアサイトの波形を比較した.

測定開始から終了まで,上肢の観血的動脈圧測定値と上肢のクリアサイトの測定値は同等であった.上下肢のクリアサイトの比較では,測定開始から頭低位前までは収縮気圧は概ね $10 \sim 20 \text{mmHg}$ の違いが見られ,安定したモニタリングが可能であった.頭低位直後から収縮期血圧の差が 30 mmHg 程度に増加し,また頻回にキャリブレーションを行うようになったため,モニタリングが不安定になった.頭低位解除後は上下肢の収縮期血圧の差は頭低位前の範囲に回復した.

【考察】エドワーズライフサイエンス社のクリアサイトはボリュームクランプ法,フィジオキャル法を用いて測定に用いる指先の血管を同定し,カフ圧を調整することで動脈圧を連続測定できる.非侵襲的モニターであるため,臨床的に幅広い領域での使用が期待されている。

本来クリアサイトは上肢の指先の脈波伝導を上腕動脈の圧波形に変換し血圧を表示するため,下肢の血圧測定は正確に行えない.また,フィンガーカフも手指に合わせて作成されているため,下肢に装着した場合はボリュームクランプ法が適切に作動するかどうかは不明である.

本症例ではフィンガーカフを上下肢に装着しその血圧差を経時的に観察することで,下肢の循環変動を推測した.また頭低位直後より測定が不安定になっているが,これは血圧測定に用いるべき血管の同定と血圧測定のカフ圧が決められない現象であり,血流が不安定になっていることが推測される.

【結語】ロボット支援下前立腺摘出術の麻酔に上下肢にクリアサイトシステムを使用し,下肢の灌流モニタリングを試みた。

下肢のクリアサイトでは上肢の測定値と比較して低値を示し,頭低位中は測定が不安定であった.

2-7 人工心肺中に使用した揮発性麻酔薬投与濃度と自己肺呼吸再開時の呼気終末濃度に大きな乖離を認めるのはなぜか?

三重大学 臨床麻酔部

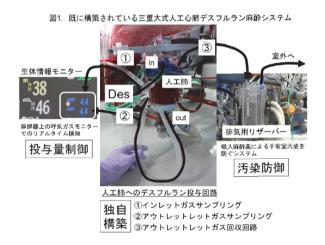
住吉美穂,亀井政孝

揮発性麻酔薬は臓器虚血プレコンディショニング (Anesthetic preconditioning: APC) 作用を有する.心臓手術では,揮発性麻酔薬を使用した方が完全静脈麻酔と比較し術後1年死亡率が低いことが報告されている.加えて,APC は揮発性麻酔薬の総投与量が関係し,人工心肺(Cardiopulmonary Bypass: CPB) 前後だけでなく CPB 中も一貫して揮発性麻酔薬を投与した方がより優れた心保護効果を発揮することが知られている.しかし,CPB 中の人工肺からの揮発性麻酔薬投与はi) ガスアウトレットでの濃度モニタリングおよびii) 手術室汚染が問題となり,広く普及するに至っていない.この未決な重要な問題を解決するために,三重大学では揮発性麻酔薬を安全に投与できる人工心肺システムを新たに構築し臨床使用をすすめている(図1).我々の考案した新規システムの有効性を確認するために,デスフルランの人工肺ガスアウトレットの濃度モニタリングについて国内で主に使用されている新型人工肺3種類で検討した.

臨床的仮説: ${
m CPB}$ 中デスフルランガスアウトレット濃度と ${
m CPB}$ 離脱後の自己肺呼気ガスにおける最高濃度は同程度となる.

方法:症例は軽度低体温心停止を要する予定心臓手術患者 4 例,デスフルラン投与は CPB 中に限定し麻酔維 持は完全静脈麻酔で行った、デスフルラン投与濃度は CPB 開始後 30 分間 10 %, 以降 CPB 離脱まで 6 %と した、CPB 離脱時以降の自己肺換気は、CPB 前と同じとし、麻酔器フローは酸素 2 L/min とした、呼気濃度 サンプリングは麻酔器カプノモニターを使用した.

結果: まず CPB 中濃度の妥当性を検証した. CPB 中投与濃度 6 %に対して, 人工肺ガスアウトレット濃度 4.7 %であった.デスフルランの肺胞気/吸入気係数 $(\mathrm{FA/FI})$ を 0.89 とすると,血液への移行量は $6 \times (1-0.89)$ =0.66 % . CPB 中の心拍出量は約 4 L/min なので , デスフルランの血液移行量は $4 \times 0.66 = 26.4$ mL/min . デスフルラン供給量は , 投与濃度 6 % , ガス吹送量 2 L/min なので , $2 \times 6 = 120$ mL/min となる . 人工肺ガ スアウトレット濃度の理論値は (供給量 - 移行量)/ ガス吹送となるので , (120 - 26.4) / 2 = 4.68 %と考察さ れ人工肺ガスアウトレットでの測定では理論値と近い値が得られた.一方, CPB 離脱後自己肺呼吸再開後の 呼気ガス濃度は最高値 1.0 %程度と投与濃度との間に大きな乖離がみられた. すべての人工肺で同様の結果で あった. 結語: CPB 中と離脱後の測定濃度の乖離は,肺胞内濃度ゼロからの換気開始に加え,自己肺の死腔換 気および V/Q ミスマッチが関係していると推測されるが,今後のさらなる検討を要する.



イブニングセミナー「麻酔器の新しいテクノロジー」 ES-1 術中肺保護をサポートするドレーゲルのテクノロジー ドレーゲルジャパン株式会社 マーケティング部 周術期領域プロダクトマネージャー

木本 進

ドレーゲルの歴史は 1889 年にビール模へ炭酸ガスを追加するための減圧弁開発から始まりました,以来, Technology for Life(生命を守るテクノロジー) をビジョンとして掲げ,世界初の酸素人工呼吸器や麻酔装置を はじめとした医療と安全技術の分野で、ファミリーカンパニーとして130年に亘り世界に多くのテクノロジー を発信してきました.

そして創業以来, Dräger では病院で直面する様々な課題に共に向き合い, 更なる患者様と医療スタッフへの 安全向上,ワークフローの効率化および医療費の削減等を達成するための製品,システム,サービスの開発を 続けています.

その中の大きなテーマの一つとして, 術後呼吸器合併症 (PPC) の削減に対する取り組みは, これまでも多く の病院で大変重要な課題として捉えられてきました.一部の研究データでは開腹術症例の5%に及ぶと言われ る術後呼吸器合併症 (PPC) は , 再挿管率を増やし , 術後合併症の中でも最も死亡率や在院日数 , 医療費の増加 に大きな影響を及ぼすと言われています.

非肺保護換気群と肺保護換気群で術後合併症 (PPC) の発生率を比較した研究でも, 術中肺保護換気の明らか な有効性が示されており,更にはそれらの肺保護戦略は麻酔導入期から維持期,覚醒期と周術期全てのフェー ズに亘り行われる事が大切とされ,それに対応するテクノロジーを持つ全身麻酔器の重要性が注目されるよう になりました.

前述したように,Dräger では酸素人工呼吸器の開発から始まり,長い歴史の中で麻酔と呼吸管理の経験と技 術を重ねてきました.そして,その豊富な経験と技術を生かし,麻酔器としては世界でも類を見ない,タービ ン方式の人工呼吸器を搭載した Perseus A500 を開発しました.

ICU でも使われるタービン方式の人工呼吸器は,周術期においても多くのメリットを発揮し,これまで以上に安全な術中肺保護へのサポートが可能になりました。

一つの例としては,精密なフローコントロールを実現したことにより CPAP モードが可能になりました.これは例えば,覚醒期の肺胞虚脱を防ぐ為に有効な手段の一つとなる事などが期待されています.

更に本年 8 月,この Perseus A500 に,新たに自動リクルートメントのソフトウェアが搭載されました.この新しいソフトウェアでは,一般的に麻酔科医の先生方が行う,マニュアルバッグにより一定時間,圧力を持続的にかけ,虚脱した肺胞の再開通を図るリクルートメント手技の代わりとなる「シングルリクルートメント機能」と,設定した呼吸回数とドライビングプレッシャーで段階的に PEEP 圧および最高気道内圧を上げ,更に段階的に下げていく「マルチステップリクルートメント機能」の2種類のリクルートメント手技が可能です.

特にマルチステップリクルートメント機能では、段階的に患者様の肺コンプライアンス変化と循環動態の変化を確認しながら圧力を徐々に上げて行く事が出来るため、より安全にリクルートメントを実施できます。更に肺コンプライアンス変化を見ながら段階的に圧力を下げていく事で、至適 PEEP を設定するための指標になる事も期待されています。2 つのリクルートメント機能は、それぞれワークフローを考慮したインターフェースにより直感的な操作を行えるほか、肺コンプライアンスなどから診る肺メカニクスの経時的変化や、リクルートメントの効果がモニタリングされ、意思決定の為のツールとしても役立ちます。

特徴的なタービンテクノロジーに加え,この新しい Perseus A500 の最新ソフトウェアが術中肺保護戦略の 更なる一手となる事を期待しています.

ES-2 FLOW-i 麻酔システムのコアテクノロジー

ゲティンゲグループ・ジャパン株式会社 アキュート・ケア・セラピー $ext{VS/CS/CC}$ 事業部 池野周平

現在,外科手術における主要な麻酔方法の一つである吸入麻酔法が本邦で施術されるようになってから 50 年が経過した.この間,麻酔装置,麻酔薬および麻酔装置と併用して用いる装置は改良を重ね,安全性の向上が図られ,いまや麻酔装置は広く定着した医療機器となっている.

製造元 Maquet Critical Care AB 社 (スウェーデン国) における麻酔システムの開発の歴史においては,2000年に「KION Anesthesia Workstation」を市場に投入した.本邦では2001年にフクダ電子株式会社が同社製システムの承認を取得し(販売名:全身麻酔器キーオンシリーズ),現在も医療機関で使用されている.

また, Maquet Critical Care AB 社は,これまで主たる製品として人工呼吸器を製造し,世界的に販売しており,その歴史と実績は40年を超える.有力機種である「サーボベンチレータシリーズ」は,前述の麻酔装置と同様,フクダ電子株式会社により承認取得されており,本邦において広く使用されている.

さて,「FLOW-i 麻酔システム」は,2013年に弊社が承認を取得,フクダ電子株式会社を販売元として販売開始から5年が経過した最新の麻酔システムである.一般的に臨床使用されている類似麻酔システムと比較して,機器の心臓部に新しい取り組みやユニークな機構が採用されており注目されている.

今回, FLOW-i に搭載されている様々なコアテクノロジーの中から,特に本製品のために新しく開発された, "ボリュームリフレクター"を使用した再呼吸システムについて詳しく紹介したい.

ボリュームリフレクターとは,機械的な仕組みや可動部を一切持たない 1 本の通路状の部品であり,患者さんの呼気ガスを一時的に貯留する容器としての役割を担う.通路部分の断面積は約 $3.5 \mathrm{cm}2$,通路全体の長さは約 $340 \mathrm{cm}$,2 本の渦巻状の通路が中心付近で滑らかに繋がっており,総容量は約 $1,200 \mathrm{cm}2$ ($1.2 \mathrm{L}$) となる.駆動ガス接続口にはボリュームリフレクター駆動用の酸素ガス供給装置 (酸素ガスモジュール) が接続されており,ボリュームリフレクターと合わせて再呼吸システムを構築する.これは従来のベローズ方式やピストン方式にかわる新しい再呼吸方式となる.

まず呼気相では,患者さんの呼気ガスが呼吸回路を経由して患者カセット内部のフローセンサーを通り流量が計測された後,ボリュームリフレクターに貯められる.この時,既に貯留されていた呼気ガスは,ボリュームリフレクターの下流側に近いほうから余剰ガス排出セクションに流れ出ていく.

次に吸気相にて,駆動用の酸素ガスモジュールから必要量の酸素ガス (再呼吸率%に応じて自動的に計算される) がボリュームリフレクターに送り込まれ,貯留されていた呼気ガスが患者カセットに戻り, CO2 アプソーバーを通り CO2 が除去された後,気化器からのフレッシュガスと混ざり合い,患者さんに換気として供給される.

このような呼気相 / 吸気相の動作が,ボリュームリフレクターを使用した再呼吸システムの基本的な原理で ある

またこの他に,40 年以上にわたって世界中で人工呼吸器を販売してきたノウハウを活かし,FLOW-i への搭載を実現した次のコアテクノロジーについても言及したい.

- ・超音波式フローセンサー
- ・パラマグネティック式酸素センサー

- ・サーボフィードバックコントロール
- · SERVO inside_

ES-3 気化器作ってみました!!

日本光電工業株式会社 呼吸器・麻酔器事業本部 第 1 技術部 荻野芳弘

戦後復興期の豊かさの象徴であったテレビ・冷蔵庫・洗濯機.合わせて三種の神器と呼ばれていました.今日この中の1つでも外国製品をお使いの方はどれくらいいらっしゃるのでしょうか?

ところで,麻酔科医のみなさんにとっての三種の神器は何ですか? 異論はさておき,仮に麻酔器・患者モニタ・ビデオ喉頭鏡とすると,これら全てを国産製品でお揃えの方はどのくらいいらっしゃるでしょうか? もし国産で3カード揃っていれば貴方(ないし貴方の上司)は確実に国粋主義者です.全部外国製品の方も多いと思われますが,今日のところは非国民のレッテルは猶予して差し上げましょう.

私がサラリーマンになりたての今から 30 年以上前には国産の麻酔器メーカは確かに何社かありましたが,その多くが今では存在しません.患者モニタのメーカも似たところがあります.患者安全・使い易さ・使っているときに得られるなんともいえないセレブ感や,意味もなく感じられる麻酔が上手くなった自己満足感・・・何をとっても国産が外国製に負けている現状は,ひとりの日本人 ME 機器開発エンジニアとしては寂しい限りです.これは,ある日会社から突然に麻酔器事業に新規参入し,国産麻酔器を新たに開発するよう辞令を受けてしまった泣き虫エンジニアの苦闘の開発秘話です.気化器・ニューマチック・筐体の開発は特に困難を極めました.三重県ならぬ三重苦となり開発進捗を常に脅かしてきました.

本日は中でも極めつけだった,気化器の作り方についてお話しすることとしました.良い子ならぬ良い麻酔科医のみなさんは決してマネをなさらないようご注意下さい.何せ本学会では素性の怪しい麻酔科医(もどき)をよくお見かけするもので...

なお、本開発はアコマ医科工業と日本光電工業との共同で行われました。

ES-4 CarestationTMInsights ~ A Brilliant Industrial Ecosystem ~ GE ヘルスケア・ジャパン (株) ライフケアソリューション本部 宮 由希子

生体情報医療モニタなど医療機器を介して得られた多くの生体情報は,自動麻酔記録装置などの部門システムや電子カルテ上に,診療録や診療諸記録の一部として最低5年間保存されています.日本は諸外国と比べ比較的早くから医療機関における"診療録の電子化"が進んでおり,蓄積されたデータベースを基に,病院経営,研究目的の他,業務改善や,医療行為の効率化などの利用,データ活用が期待されています.しかしその一方で,国内において殆どの施設ではデータの二次利用,活用が進んでいないのが現状です.また,データフォーマット,セキュリティー,情報システムなどとの問題により,必要としている医療者間での診療諸記録および関連する医療データの自由な相互間利用が抑制され,活用されていない多くの医療データがデータウェアハウス (DWH) 内に蓄積されています.

現在,日本での電子カルテ (EMR) の普及率は,600 床以上の病院では 98%,200 病床未満でも 50%に達しています.在宅,医療,介護との連携が活発に行われる地域包括ケア時代を迎えた現在では,既存の医療データとを連携させる医療介護情報連携基盤についても論議がされるようになりましたが,他の医療先進国と比べるとまだまだ進んでいません.

一方,医療以外の分野に目を向けてみると,デジタル技術と Linux に代表されるようなオープンソースソフトウェア (OSS) が一般消費者向けのデジタル機器の開発に大きな発展をもたらしました.また,近年では,産業や工業分野においても,ビッグデータ,AI,IOT,VR など様々な形でデジタル技術が導入され始め,いずれの分野においても人手不足の解消,安全性の向上,またはエネルギー化などで活用され始めてきています.医療現場にこのような技術が応用され,診療や人手不足の解消の一助となるであろうことは,想像に難くないでしょう.

GE では,2015 年に Industrial (インダストリアル) 向けのオープンソフトウェア「Predix io」を発表し,2016 年に Digital Industrial Company を目指すと宣言してから,インダストリアル分野での IOT (Internet of Things) 化を進めてまいりました.

例えば, Aviation(航空機産業) 部門では飛行中の航空機エンジンの状況をリアルタイムでモニタリングし,障害状況等の解析や故障予測,効率の良い飛行経路選択や飛行経路解析による,飛行距離,燃料や時間などの運航コストの削減などを実現しました.

Energy(エネルギー) 部門では風力発電装置の,風向き,風速や風圧から,タービンの回転数やエネルギーの出力量など,最適な効率を計算し,また,近隣の風力発電機に同情報を転送する事で,風力発電施設全体の効率を 20 %以上向上させることに成功しています.

Healthcare(ヘルスケア) 部門でも Applied Intelligence(医療データ分析サービス)を上市しました. Oldest country in the world と言われる日本での医療現場の申告な人手不足の状況下で,医療機関が「医療の品質を落とさずに生産性を向上すること」を支援するサービスを開始しています. 例えば,近隣のクリニックからの紹介患者の情報を分析し,より病院に Financial Benefit の高い患者を紹介してくれるターゲット病院の洗い出しをすることで,ライバル病院からの Ope 件数を確保する. RIS(放射線部門システム)との連携により患者さんの CT 検査待ち時間を削減,院内の超音波装置の稼働率などを把握,配備の最適化を行う事での Work Flowの改善などのソリューションサービスを始めており,ゆくゆくは,医療安全性の向上や収益の改善,患者満足度の向上など,Clinical Outcome, Financial Outcome の創造を目指しております.

このような,次世代のソリューションを見据えた取り組みの一環として,GE Healthcare 製全身麻酔装置では,Aisys CS2 が従来データ収集に使用していた RS232C(シリアルポート)からではなく,イーサネット(Ethernet)経由で簡単により多くの情報を出力できる事を実現し,更にそのデジタルデータをゲートウェイ経由でクラウドデータウェアハウスに蓄積,専用アプリケーションツールを使って呼吸管理情報,アラーム,稼動,点検情報,麻酔薬管理情報など研究目的や,業務改善,医療行為の効率化などに利用,活用できるデータの二次利用化を実現しています.今回は,この技術を利用した新しい麻酔器・周術期の形についてご紹介させて頂きます.



ランチョンセミナー「パルスオキシメータのテクノロジー」 パルスオキシメータの脱コモディティ ~ プレチスモグラフィとオキシメータ ~ 広島大学病院 手術部 中村隆治

2017 年 12 月 21 日, William New Jr 博士がサンフランシスコの自宅で亡くなられた. New 博士は Nellcor 社の創設者の一人である. Nellcor 社は 1983 年に N-100 というパルスオキシメータを発売した.

N-100 は赤色光と赤外光の二つの LED を光源として用い,得られた信号をデジタル処理して $\mathrm{SpO2}$ を測定していた.これは現在のパルスオキシメータの構造とほぼ同一である. $\mathrm{N-100}$ はパルスオキシメータが世界中に広く利用されるようになるのに,非常に重要な役割を果たしたとされている.2018 年はこの $\mathrm{N-100}$ 発売から 35 年目となり同年に横浜で行われた第 65 回日本麻酔科学会学術集会で,Nellcor 社 (現コヴィディエンジャパン株式会社) は $\mathrm{N-100}$ を記念展示していた.ブースには当時を経験された先生方の熱い思いが多数カードに記載されていたと聞く.

現在,パルスオキシメータの発明者が青柳氏であることは常識となっている.一方,New 博士が 1986 年の 臨床麻酔学会第 6 回大会で行った教育講演の記録の中には,青柳氏の名前は一言も出てこない 1).青柳氏がパルスオキシメータの発明者として正式に国際的に認知されたのは 1980 年台後半である.

N-100 発売当初にパルスオキシメータに触れられていた先生方にとって,まず Nellcor 社があり,後で発明者として青柳氏を知るという順序であったと考えると,Nellcor 社への深い思い入れも理解できる.

パルスオキシメータは日本光電の青柳卓雄氏が 1974 年に ME 学会で報告したのが最初とされている 2) . 1977 年には世界初の指先型パルスオキシメータ MET-1471 がミノルタカメラから発売された .

MET-1471 はハロゲンランプを光源として用い,測定信号の処理もすべてアナログ演算回路によりなされていたとのことである.巨大な本体やプローブは使い勝手が悪く,発売台数は 100 台程度にとどまった.一方,New 博士は 1986 年の講演で,当時全米の手術室の 25 %がパルスオキシメータを日常的に使用しており,その比率は来年度には倍増するとの見通しを示している.N-100 などの"臨床で使える"パルスオキシメータがいかに臨床に衝撃を与えたかという事実の一端を垣間見ることができる.

N-100 の価格は, 当時の大卒の初任給が 132,200 円であった時代に, 300 万円超だったそうである.

現在,Amazon でパルスオキシメータを検索すると,単 4 電池で動作する携帯型パルスオキシメータが 4 千円弱で販売されている.現在の大卒の初任 $(2016 \ \ = \ 203,400 \ \ = \)$ から換算すると,約 1000 分の 1 である.これだけを見ると,パルスオキシメータはすでにコモディティである.パルスオキシメータがコモディティ化しているこの時代,各メーカーは様々な差別化戦略を打ち出している.一つ目はパルスオキシメータに付加価値を与えるというアプローチである.Masimo 社はパルスオキシメータ波形による呼吸性変動測定である,PVI $(Pleth\ Variability\ Index)$ を測定している.

- 126- - 抄録抜粋

PVI はいわばパルスオキシメータ波形を搬送波とし,呼吸性変動が AM 変調で伝達されていると考え,復調する方法である.日本光電の esCCO(estimated continuous cardiac output) は心電図とパルスオキシメータ波形の伝達時間差から心拍出量情報を計算する.パルスオキシメータ波形に時間軸方向で情報が含まれていると考え,FM 復調を行う方法ともいえる.パルスオキシメータ波形を搬送波として用いる場合のもっとも大きな問題は,自律神経活動による波形の振幅変化が大きすぎることである.FM 変調は振幅変化に影響を受けにくいため,AM 変調を用いる方法よりも安定した測定が行えるかもしれない.波形の振幅変化から自律神経活動を測定する試みもある.GE Healthcare 社の SPI(Surgical Pleth Index) などが知られている.筆者らもこの分野で研究を行っているが,ベースラインとなる安静時の波形振幅に個人差がありすぎる点が実用化への最大の課題となる.

差別化のためのもう一つのアプローチは,愚直に $\mathrm{SpO2}$ 測定の精度向上を目指す方向である.パルスオキシメータの精度を向上するのには,ノイズの除去と正確な信号測定が必要である.ノイズ除去のもっとも基本的な方法は,加算平均である.数心拍の情報を加算し平均することで,背景ノイズから求める信号を強調する.Nellcor 社は,加算する波形一つずつに波形の質による重み付けを行っている.さらに,加算平均による反応性低下の対策として,直近の波形情報ほど重み付けを重くしている.また,正確な信号測定の面では,センサーごとに LED 波長を測定し,チップにこの情報を内蔵している.センサーの個体差によるキャリブレーションカーブの違いが最小となるため,特に微妙な波長の違いが大きな測定誤差となりやすい低 $\mathrm{SpO2}$ 領域での信頼性向上が期待できる.

このように,コモディティ化しているように見えるパルスオキシメータだが,各メーカーは多くの努力を払い,機能向上を目指している.

- 1) 動脈血酸素の非観血的持続的測定 William New Jr 日本臨床麻酔学会誌 Vol. 6. 1986
- 2) イヤピース・オキシメーターの改良 青柳卓雄ら 1974 年第 13 回日本 ME 学会大会抄録集



N-100 現在販売しておりません



Fig.1 Oximet MET-1471: the world's first fingertip probe pulse

パルスオキシメータの小型軽量化による用途の拡大.

編集後記

2018 年,三重県津市での第 36 回日本麻酔・集中治療テクノロジ - 学会冊子が,予定の期限で発行できました.ご協力を感謝します.

他の学会と同様に本誌も電子版公開しています (http://www.jsta.net). 業績,引用文献などにご利用ください、印刷本では経費の都合上カラーが出来ませんので御了解ください。

例年,100 ペ・ジ以上の冊子の発刊を目標に努力しておりますが,原稿が少なく苦労しているのが実状です.学会員のみなさま,そうでない方も発表の有無にかかわらず,気楽に編集長までマイクロソフト Word で記述いただき,メ・ル投稿していただければ有りがたく存じます.段組み,印刷 PDF 原稿は当方で行います.掲載および印刷費は無料です.

1 テ - マの報告だと $4\sim6$ p 程度になります.少しまとまった総説だと, $6\sim10$ p 程度が適当,系統だった内容だとそれ以上のペ - ジになります.冊子は全て PDF でウェブ公開しております(http://www.jsta.net/txt/syoroku.htm).それを利用すると,カラ - で詳細な図を入手することも可能です.また,必要な別冊は独自にカラ - 印刷して下さい.

どうぞよろしくお願いいたします.

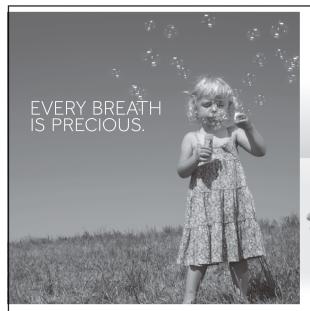
第 36 回学会は,内田先生のお力で前夜祭にイブニングセミナーが開催でき,麻酔機関連業者の最新の技術を講演していただき,テクノロジー学会員にとって,大いに参考になりました.また,当日プログラムの抄録を参考文献として巻末に掲載いたしました.ここにお礼を申し上げるとと共に,医療・工学の接点として今後の学会運営に役立つことを願っております.

中国に端を発した新型コロナウィルスは,グローバル社会の現在,世界規模で蔓延し,多くの死者を出す大惨事となりました.一旦医療崩壊が発生すると,中世のペストと同様に老人を中心に人口の2割の人命が失われるのではないかと懸念されます.集中治療に係わる会員の先生方には感染に最大限ご注意頂き業務を遂行されることを願うばかりです.そしてまた,工学とは違った生物学(自然)の奥の深さを感じます.

本冊子発行に際して,株式会社三笑堂ならびに株式会社増富からの御支援をいただきました.ここにお礼を申し上げます.

2020年3月25日

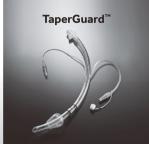
日本麻酔・集中治療テクノロジ - 学会事務局編集長 田中 義文 tanaka@koto.kpu-m.ac.jp 京都府立医科大学麻酔科学教室 〒 602-0841 京都市上京区河原町広小路梶井町 465



McGRATH™



Nellcor™



INVOS™



販売名 医療機器認証番号

TaperGuard 気管チューブ

無侵襲混合血酸素飽和度監視システム 223AABZX00011000

販売名 医療機器認証番号

McGRATH MAC ビデオ喉頭線 販売名 ネルコアオキシセンサⅢ 医療機器届出番号 13B1X00069PS006A

製造販売元

コヴィディエン ジャパン株式会社

RMS (Respiratory & Monitoring Solutions) 事業部 Tel: 0120-998-971 medtronic.co.jp

Medtronic

Further. Together

Root with RD SedLine

RD SedLine® は4チャンネル EEG を導出、波形をリアルタイム表示 PSi (患者状態指標) にて患者さんの催眠レベルを表示 DSA 表示で左右の脳の活動をカラー表示

マシモ ルートモニタ



RD SedLine EEG センサ マシモ SedLine モジュール

販売名:マシモ ルート モニタ 医療機器承認番号:22600BZX00344000 製品番号:9515

販売名:マシモ SedLine モジュール 医療機器認証番号:226ADBZX00069000 製品番号:9513

D214 EEG(脳波)3又は4検査(誘導)……130点「2018年4月診療報酬改定」 8誘導未満の誘導数により脳波を測定した場合は、誘導数を区分番号[D214]脈波図、心機図、ポリグラ フ検査の検査数と読み替えて算定するものとし、種々の賦活検査(睡眠、薬物を含む。)を行った場合も、 同区分の所定点数のみにより算定する。

マシモジャパン株式会社 東京都新宿区北新宿 2 21 1 新宿フロントタワー 24 階 TEL 03-3868-5201 FAX 03-3868-5202

大人には大人の、子どもには 子ども専用のSedLine®EEGセンサ

センサのサイズ達いだけではありません。 成長の著しい小児患者の生脳波形(EEG)から、正しい催眠レベルを導き出すためには、専用の解析方法も必要とマシモは考えます。従来の成人用アルゴリズムに加え、小児専用のアルゴリズムを新たに搭載した新型のRD SedLine[®] は、小児患者のより良い麻酔管理をサポートいたします。



販売名:RD SedLine EEG センサ 医療機器届出番号:13B1X1022300004i



4248(成人用)



麻酔・集中治療とテクノロジー 2019 〈検印省略〉

電子版: 2020年 3月25日 (http://www.jsta.net/txt/syoroku.htm)

印刷版: 2020年 3月31日 第1版発行

定価(本体3,000円+税)

編集者 内 田 整

> 橋 本 悟

田中義文

発行者 田 中 義 文

発 行 日本麻酔・集中治療テクノロジー学会

発行所 (株)北斗プリント社

〒606-8540 京都市左京区下鴨高木町38-2 電話 (075)791-6125 FAX (075)791-7290 ISBN4-89467-158-1

定価 (本体3,000円+税)

C3047 ¥3000E





麻酔・集中治療と テクノロジー *2019*