



Title	脳の計測：心の研究へのアプローチ
Author(s)	小泉, 英明; 栗城, 真也
Citation	電子科学研究, 4, 137-152
Issue Date	1997-02
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/24399">http://hdl.handle.net/2115/24399</a>
Type	bulletin (article)
File Information	4_P137-152.pdf



[Instructions for use](#)

北海道大学電子科学研究所公開シンポジウム  
〈概要とプログラム〉

題目：脳の計測 ― 心の研究へのアプローチ ―

会場：北海道大学学術交流会館

招待講演会：〈神経細胞から脳へ〉（午前の部）平成 7 年 12 月 14 日（木）

〈高次脳機能の計測〉（午後の部）

公開討議：〈脳における物理信号発生メカニズム〉 12 月 15 日（金）

趣旨：

脳の世紀と呼ばれる 21 世紀へ向けて、科学技術の進歩は人間の脳の形態のみならず、その高次機能（精神活動）までをも計測可能にしようとしている。本シンポジウムでは、最初に人間の脳の解剖学的形態と高次機能に関し、臨床を通じて深く理解しておられる先生方に、〈神経細胞から脳へ〉と題して基調講演戴く。さらに、科学史における脳研究の位置付けに関し、高い見地から特別講演戴く。

次に、心に立入った画期的な計測法を用いて新しい知見を得つつある先生方を中心に、最先端の〈高次脳機能の計測〉の実際についてさらに講演戴く。

このようにして、脳の本質と機能計測全体を鳥瞰した後に、本題である〈脳における物理信号発生メカニズム〉についての議論へと入って行く。現在、高次機能による信号発生メカニズムは不明な点も多く、いくつかの矛盾／対立した議論を生んでいる。これらの問題点の提起を各機能計測法ごとに行ったあと、学外の先生方と電子科学研究所の教授陣を交えて徹底的に討議する。〈心は物理信号を発生するか〉という本質的な問いかけをも、広くフロアの方々と一緒に議論する。

プログラム

12 月 14 日（木） 10：30－12：00

〈神経細胞から脳へ〉 ― 脳の神経ネットワークと代謝 ―

基調講演：

司会：小泉客員教授

1. 脳と形態
2. 脳と機能

久留 裕 順天堂大学名誉教授

小暮 久也 東京医科大学客員教授

（1 件 40 分 質問 5 分 計 1 時間半）

12 月 14 日（木） 13：30－17：30

特別講演：

司会：朝倉所長

宇宙から脳へ

小田 稔 東京大学名誉教授

〈高次脳機能の計測〉 ― 精神活動を画像で見る ―

講演：

司会：栗城教授

1. 蛍光イメージング
2. 脳磁界計測 (MEG)

工藤佳久 東京薬科大学教授

佐々木和夫 京都大学名誉教授

司会：田村教授

3. ポジトロン断層撮像 (PET)
4. 機能的磁気共鳴描画 (fMRI) と近赤外脳機能マッピング

菅野巖 秋田脳血管研究所研究部長

渡辺英寿 東京警察病院脳神経外科医長  
(1件 40分 質問5分 休憩15分 計4時間)

12月15日(金) 10:30-12:15

パネル討議 〈心は本当に計測可能か〉

1. 問題提起：

司会：栗城教授

蛍光イメージング, MEG, PET, 光CT, fMRI

工藤佳久, 栗城真也, 菅野巖, 田村守, 小泉英明

(1件 15分, 計1時間15分)

個別討議

(1件 6分, 計30分)

12月15日(金) 13:30-15:00

2. 総合討議：計1時間半 (招待討論者を含む)

司会：小泉客員教授

討議予定項目

1. 精神活動と神経賦活の連関
2. 空間分解能と時間分解能の限界
3. 物理学的分解能と生理学的分解能の差異
4. 神経活動と微小循環系との相関
5. 微小循環系のミクロ/マクロ制御機構
6. 脳における解糖系の発動機序

## I. 基調講演

冒頭に二題の基調講演が行われた。

最初に、〈脳と形態〉と題し、脳の機能計測の基礎になる神経系ならびに循環系の形態について述べられた。脳の機能計測はこのようなしっかりした基礎に基づいて開発されるべきであること、形態の知見なくして機能が語れないことを誰もが認識させられた優れた講演であった。特に、人の脳は哺乳類の進化の最上段にあり、これまでの進化の過程の知見が、脳の理解に本質的であることが具体例をもって示された。また、大脳皮質の機能を議論する際に、大脳皮質の機能を支える別の場所、あるいは回路があって初めて皮質の機能が成立する事実が実例並びに症例をもって示され

た。これらは、今後の脳精神科学の研究に基本的な指針を与えるものであった。

次に、〈脳と機能〉と題し、〈心〉の成立条件、成立過程を含めて、脳機能に関する基本的事項が述べられた。また、〈心〉を正面から研究するに当たっての基本的な心構えについても述べられた。

奥の深い内容が、異分野の研究者にも理解できる言葉で示され、やはり、類い稀な講演となった。

## 久留：脳と形態

大脳、あるいは大脳皮質の機能の計測には、さまざまな基本となる形態的な構造の理解が必要。あるものは、既に解明され、あるものは研究途上。

まず、脳の大血管系から見て行く。脳血管の動脈造影したものを、左右の半球について重ねてみる。多くは、左右同様の走行をとるが、一部、全く異なっている部分も存在する。例えば、頭頂葉の一部である。右では最初から太いものが前後を引受け、左では細いものが別々に前後を引き受けている。中心後回付近の活性化時に、血流の変化領域は左右でパターンが異なるかも知れない。

大脳皮質にはいると、ほとんどの動脈は皮質内の6層の範囲内で終わる。典型的には、動脈は榎の木を倒立させた形状の走行 (Inverted Oak)、静脈は榆の木を倒立させた形状の走行 (Inverted Elm) の形状を呈する。したがって、活性化によって血流が増大すると、6層の皮質内の灌流域全体が同時に血流増大を受ける。

大脳皮質の血管分布。G 1 : 10  $\mu\text{m}$ , G 2 : 15–25  $\mu\text{m}$ , G 3 : 15–30  $\mu\text{m}$ , G 4 : 30–40  $\mu\text{m}$ , G 5 : 30–75  $\mu\text{m}$ , G 6 : 50–240  $\mu\text{m}$ , 数の比は次の通り。

G 2, 3 > G 4, 5 >> G 6, (G 6 は髄質内まで到達, しかし, 1/5 以下)

デュベルノアは大脳皮質コラム構造と動静脈パターンは相関するとしている。いくつかのパターンがあるが、典型的には、太い血管がコラム中心に配置し、細血管が放射状に配置されている。このパターンからすれば、最近の fMRI でも、コラム機能にかなりカップルした血流増加を捉えている可能性がある。

髄質の中では、方向性をもって走行する。脳室に向けて走行。これらは 100 ミクロンの小動脈 (アルテリオール) であり、顕微鏡的にも特徴を持った特別のものである。これは、インターナルエラスティックメンブレンが無い。即ち、毛細管の替わりができる。事実、このアルテリオールの周りには毛細管が無い。

インストランゲータタイプの痴呆では、髄質が一部消失する。これは、アルテリオールの壁が変成し、毛細管の役目ができなくなると、周りの髄質が壊死することに起因すると考えられる。

髄質には、髄質静脈と呼ばれる沢山の静脈が存在。

髄質の役目は髄鞘化された神経繊維の跳躍伝導による信号伝達である。この伝導には髄鞘の周りのイオン環境が極めて大事。イオン環境を安定させておかないと伝導が速く保てない。高次機能の処理時に信号が領野間を駆け巡るのでこれは極めて重要。

髄膜腫の手術後、一時失明、その後完全に回復した例がある。これは手術によって髄質に静脈うっ滞のようなものが生じ、それが消滅するに従い視覚連合機能が回復したと考えられる。

運動野は中心溝の内側に位置するので、活性化部位が溝の内側に存在することは十分有り得る。中心溝は尾長猿のレベルで出現。溝の存在によって、連合繊維の長さには差が出る。即ち、機能と関係が生じる。進化からみると、手の形が変わり、足との役割、能力が大きく違ったあたりから、中心溝、3 a が出現。

視覚第 5 野で運動視を司るが、成長過程にて、この髄鞘化が早い事実も興味深い。

記憶障害のなかでの道順記憶障害と回復過程は興味深い。記憶のループの繊維の一部の障害と回復過程に対応すると考えられる。瞬時 (直接) 記憶は障害されていないかった。

投射繊維は錐体路で代表され、大脳と其れ以下の神経中枢を結ぶ。交連繊維は脳梁で代表され、左右の大脳半球を結ぶ (約 1 億 5 千万本の有髄繊維)。連合繊維は長短あり、長連合繊維は 5 種類、あるいは 6 種類ある。短連合繊維は無数にあり、例えば脳回を結ぶ。

ピック病の症例では前頭葉、あるいは側頭葉の皮質が犯される。これら皮質からの出力は錐体細胞で、脳梁繊維もそれから出た軸索と髄鞘にほかならない。従って、犯された皮質が痩せるだけでなく、症例の MR 像にみられるように、脳梁も薄くなる。

辺縁脳が進化により相対体積を減少したと考えられる。辺縁脳は、例えばかわうそで大きく、嗅覚に先導される動物の行動様式全般を司る脳と言える。鼠の脳の断面をみると、嗅覚系の最後に記録 (記憶) システ

ムとして、海馬があるように見える。これは、種の保存と個体維持のために、快感、不快感により、行動を再現するために記憶機構があるように見える。嗅覚系は先天的にプログラムされている。それに付随する行動も脳の中に、開発されるべく仕組まれている。実体験の記録が海馬を中心としてなされる。ヘルペス脳炎にて、側頭葉前部が全て破壊された患者では、食物と排泄物の区別がつかない。脳弓の一部に小さな膿腫がある症例では、時々、記憶障害が起きる例がある。

一般の記憶障害では、抽象的な事象の記憶障害が取り上げられるが、そのメカニズムについては、まだ、これからである。言語にアーティキュレーションは重要。文節をはっきり区切って、さらにつなげると、初めて意味へ進展する。音素を形成するには、音の範囲を限定しなくてはならない。

人の脳は、哺乳類の進化の最上段にある。この事実を常に認識する必要がある。

一般に大脳皮質の機能を議論するが、実際にはそれを支える場所、あるいは回路があって、その機能が成立する。

質問：四方（数学）

代替について。

回答：一次投射繊維では、回復が悪いが、連合繊維についてはほとんど代替可能。

質問：四方

先程の失明のケースにおける機能回復順序について、もう少し詳細を知りたい。

回答：手術直後、両眼失明、即、静脈うっ滞の治療、当日夕刻に原色の識別可能に、二日目、近似した色の識別は不安定、動きのあるもの、長いものは認識可能、三日目、文字の認識可能、左右視野ずれており、意識して補正が必要。認識に時間がかかり疲れる。日々回復し6日目にはほぼ回復、ただし左下1/8程の視野欠損が残ったが、後に完全回復。

質問：諸富（心理学）

ヘルペス脳炎はなぜ側頭葉に多いか。

回答：ヘルペス脳炎では、ウイルスが顔面から静脈を伝って侵入する。頭部静脈には弁が無いので簡単に逆流して脳に侵入する。

小暮：脳と機能

〈心〉とはどこまで分かっているかは疑問である。今日は、〈心〉の発生と成立する過程を、臨床神経学の立場からそのヴィジョンのような形で述べる。脳の重さは1,400 g、体重の2%程度。しかし、代謝からみると、血液は約800 cc/minで全血液の16-17%が、脳に送られる。脳で消費する酸素は50 ml/minで、全身の20%である。エネルギー的には脳は20 Wの臓器である。グルコースについては80 mg/minで、肝臓が生成するグルコースのほとんど全てを使用。

かつては、脳はグルコースのみ使用とされたが、必ずしもそうではない。例えば、熊は冬眠時に、皮下脂肪をベータ酸化にて使用している。乳児も同様。脳の解糖系では、20%程度が使用されずにラクテートとして残り、この分は脂肪の方から入ってくる。

人間がよりよく生きて行くために、環境が変わる度に対応するのが脳の仕事。そこから、〈心〉が発生する仕組みを述べる。〈心〉は起きている状態から発生する。眠っているときには存在しない。〈心〉が発生するためには、まず、脳幹網様体から全皮質へと覚醒信号が発せられる。その次に感覚の記憶に基づいた判断機能が働く。次に、認識と位置付けが行われる。姿勢制御の小脳が呼び覚まされ、同時に前頭葉の運動の記憶が呼び起こされて反応とその形を決め、行動に至る。従って、〈心〉を議論するには覚醒が前提である。

代償作用が脳の本質、一部の機能を人工的に作っただけでは脳ではない。

環境の変化に対応して、記憶に基づいて近未来の好ましさを予測する。これが情緒であり計測は極めて難しい。心は奥行き、深さをもって語られるべきであろう。ただし、〈心〉の定量化には大賛成、計測できなければやはり科学でない。

質問：小泉（計測科学）

意識と〈心〉という言葉の関係について

回答：〈心〉を成立させる意識の水準，覚醒状態の水準がある。例えば，深昏睡では刺激に対応しない。しかし，強い刺激に対して，何らかの対応が発生したならばそれが意識である。心を囲い込むことのできる水準の意識，心を成立させられる覚醒水準が必要である。言葉は〈心〉に社会性を持たせるために必要。

質問：四方

シミュレーションに自分自身が入っている矛盾についてどのように考えるか。

回答：医学の立場では，シミュレーションに自分自身が入っていなければ都合が悪い。シミュレーションのなかで，汗がでたり身体の反応がでることもある。パーキンソン病の治療薬では幻覚がおきる。

質問：太田（精神科）

脳はコンピュータと同じように感じる。視覚などにより状況を第一次分析し，思考，感情，記憶などと結び付けている。記憶でも特に長期記憶が重要。睡眠のなかでも〈心〉は生きている。特にREM睡眠などでは，完全に脳は生きている。長期記憶と感情反応は生きており，これらをきちんと計測，分析して行くことが〈心〉の研究につながる。

自分を離れる経験。宗教体験がこれに近い。自分を乗り越えることができるのが人間の脳の素晴らしいところである。幼児から老年者への〈心〉の成長も重要である。幻覚，妄想は電解質異常のこともあり，脳の一部が引き起こすこともあれば，全体によって引き起こされることもある。

回答：REM睡眠の件は，胎児にも長く見られるし，それはそれで良いが，宇宙から自分を見るような体験は幻覚であり妄想である。そのような議論は科学ではない。コンピュータについては脳に近いものもあればそうでないものも作れるので一概には言えない。

## II. 特別講演

小田：宇宙から脳へ

まず，物理学者の自然観を紹介。18世紀の決定論（ラプラスの手帳，あみだくじ）。量子力学の出現により，あみだくじの途中でさいころを振るような自然観が現われた（ネオディターミニズム）。しかし，この25年来，ローレンツの悪魔が慌てるようなことが起きている。初期条件をきちんと決めてやっても，先に行く結果がとんでもなく異なってくることもある。カオスである。さらに複雑な系の中に本質があると思われるような問題が出てきた。昔は真理は単純明快なものとも誰もが思っていたが，複雑系，非線形系に至ってこの考えを変えざるを得ないようなことになってきた。脳は，複雑系，非線形系の最たるものでないかと思う。

従来，物理学者は脳をコンピュータとして，情報科学の分野から扱ってきた。しかし，脳の物理学的変化を見ることが出来るか。精神活動，すなわち〈心〉が動くのは，論理，数学，言語，芸術，怒りなどに伴っている。あるいは，〈心〉の病に伴っている。このとき何か物理的变化が起きるだろうか，そして，それが物理計測可能であろうか。

特定の顔，あるいは形態素に特異的に反応するコラムが理研チームにより見いだされた（ネイチャーの表紙）。ライクルのPETの仕事によれば脳活動と血流が関連していることが示される。血流，Ca移動，レーザーなど何を使い，何をみれば良いかを検討中である。ミュオニックアトムによる計測法も検討中である。画像再構成法として，すだれコリメータによるフーリエ変換法がある。これが，脳を覗くフーリエ顕微鏡となる可能性がある。ラザフォードアップルトンにて実験準備中。

SPring 8などの単色性の良いSOR光を用いて，よう素の吸収端付近の微分測光により血管の高分解撮影ができる可能性がある。フェーズコントラストによる造影も，可能かも知れない。

質問：四方

先生のすだれコリメータ，つまりフーリエ変換法はレンズの使えない多くの他の分析法にも展開できると思うが，そのあたりはいかがなものか。

回答：それは，四方先生にお考えになって戴きたい。物理学者が数学が得意と思ったら大間違いで，やはり数学者にきちっとやって戴くのが最も良いと考えている。

### III. 講演

基調講演，特別講演に引き続き，実際に最先端の脳機能計測に携わっている先生方からそれぞれの分野についての現状を講演戴いた。どの先生も，本当の意味での最先端を，自ら開拓されておられる方々であり，いずれの講演も国際会議の基調講演に匹敵した。新たに生まれつつある非侵襲的な高次脳機能計測の最先端については目を見張るものがあった。また，数々の挑戦的な新しい試みも紹介された。いずれもが，猿を用いた長年に渡る地道な研究結果を基礎とした人間への飛躍であり，実験に用いられた心理学的パラダイムも厳密に吟味されたものが多かった。〈心〉については誰にでも議論ができるため，とかく上滑りの議論も多いが，今回は例外的に全て実験事実に基づいた，格調の高い議論が展開された。

佐々木：MEG

まず，神経細胞が観測可能な磁場を発生する機序について述べられた。実際には大脳皮質錐体細胞が磁場を発生すると考えられる。ほかの神経細胞は電流の方向が一方向に並ばなかったり，電流の発生位相が揃わなかったりするために塊状磁場を発生しにくい。錐体細胞にしても，活動電位（Action Potential）ではなく興奮性後シナプス電位（EPSP：Excitatory Post Synaptic Potential）により磁場が発生する。錐体細胞についても，限局した空間内に複数あるいは互いに逆向きにダイポールがあると互いに相殺して観測困難となる。従って，MEGで観測できる神経活動は大きく制限されている。（逆に，問題が簡素化されているとも言える。）脳波と比較して大きく有利な点が

ある。頭蓋骨は電気抵抗が脳組織の数10倍から100倍，そして脳脊髄液は電気抵抗が脳実質の4分の1から5分の1である。頭蓋骨は絶縁効果，脳脊髄液は短絡効果を引き起こす。全てが球状なら補正可能であるが，脳脊髄液は大脳両半球の境と脳溝に入り込んでおり，実際には正確な補正が困難である。従って，磁場による観測が有利となる。

猿で長年研究してきたノンゴポテンシャルはブローカの領野の少し前側にでる。前頭連合野の中心部（中前頭回，37野）付近である。ノンゴポテンシャルは止めるという判断に基づく抑制によって生じる信号である。運動野では運動の前に準備電位が観測されるが，実際の運動は0.2—0.3秒で反応する。ノンゴポテンシャルはそれより早く出る。ノンゴポテンシャルには良い訳語がないが，止事成就狒犬というのが日本の神社にあるので，〈止事電位〉というのが良さかもしれない。

また，事象関連電位に，Frontal Mental Theta Wave (Fm $\theta$ ) というのがある。暗算，音楽の想起など抽象思考の際（外部入力がないとき）に前頭葉に発生する。37野の前あたりに発生するセータ波である。通常，覚醒時（目を開けている時）はベータ波（13—25 Hz）が観測される。リラックス時はアルファ波（10 Hz）が出現する。居眠り時はセータ波（5—7 Hz），深く眠る時はデルタ波（数 Hz）が出現する。このセータ波が普段でも観察できることがわかった。5.5 Hz にピークがあり，前頭葉に集中している。

前頭葉から思考の指令を送出していると考えられる。計算（暗算）と，このセータ波も関係している。ローランドによるPETでも，やはり暗算時に前頭葉に血流増大が認められている。暗譜を思い出す時には，特に複旋律の場合にでる。歌曲のような短旋律ではでない。ヨガについても，セータ波とデルタ波のバーストを観測している。

高次機能とは何かについては，別紙のように考えている。精神活動と神経活動とを，丁寧に一対一対応を付けて行くことが，〈心〉の研究のアプローチと考えられる。この，相関をいかにとるかが脳精神科学，

ポッパーのブレイン・マインド・プロブレムということであろう。脳死とは、物質とことなつた〈心〉の死を意味する。人間の内省、そして言語によって外部世界と関連付けられる形而上（主観的、観念的）と形而下（物質変化）の二つの事象をどうやってできるだけ正確に相関をとるか。これに、非侵襲的脳機能計測が本質的にかかわってくることになる。

質問：小暮（神経内科）

右脳の障害で、言葉が感情的な韻律を失い非常に平坦になる症候がある。今の話でなる程と思ったが、そう考えて正しいか。

回答：発語はブローカで左脳だが、感情的なものはどうしても優位半球でない右脳からでる。しかし、右脳のどの部分かは特定できていない。俳優を招いて感情についての実験も現在行っている。

質問：久留（神経放射線）

禅の場合、日本には三宗ある。特に臨済宗の場合、公案を考えて座禅を組むので他と違うのではないか。どの宗派か。

回答：大徳寺である。（臨済宗）他の宗派はまだやっていない。

質問：大田

被検者の連想などを、どのようにコントロールしているか。何を考えているかをどうやって知ることか。

回答：確かに、主観的な観念過程をどう確認するかは大変難しい問題だ。言葉を信用するしかない。あるいは、自分が被検者になるのが一番良い。

質問：諸富

ノンゴウ電位の時に、筋電図はどうなるか。

回答：止めようとするところで少し出ることがある。

菅野：PET

PETのSPECTに対する本質的な違いは、ポジト

ロン消滅の現象により、一対のガンマ線放出を観測できる点であり、より精度が高い。通常の脳機能マッピングに使用する、 $H_2O(15)$ の計測では、半減期2分のもを約5cc静脈に注射する。定量測定の場合のみ動脈血の採血を行う。PETの計測では、2-compartment modelを前提の仮設として採用している。すなわちBlood brain barrier (BBB)を介したPlasmaとBrain tissueの間で、次式が成り立つとする。

$$dCb(t)/dt = K1Ca(t) - K2Cb(t)$$

これは、トレーサモデルが成立する条件である。

さらに、次の条件が成り立たねばならない。

- 1 トレーサ量（生体系に無影響の範囲なること）
- 2 生体の定常性（モデル定数が一定）
- 3 測定の定量性（測定誤差の最小化）

実際の観察例では、物語を聞いているときと白色雑音を聞いているときの活性化領域の差、フリッカーによる視覚刺激、発話（ブローカ）、右指の運動による対応機能領域の活性化などである。暗算時にも、左半球の角界の活性化を観察した。

PETにおいては計測の客観化が重要である。まず、脳の形の基準化（規格化）である。これにより、脳の形の違った被検者グループを統計処理できる。スタンダードブレインは特に重要性である。

応用として、アルツハイマーの診断にも使用できる可能性がある。物語を聞いているのにアテンションが効かないケースなどが実際に観察されている。また、全脳の機能相関をとることも重要なテーマである。所謂、ニューロナルコネクティビティースタディである。

機能領域の活性時には、一般に活性化領域の血流量が増す。Hypo-capnia, Normo-capnia, Hyper-capniaの状態にても、活性化領域の血流量は増し、かつ、増加量は基底値に比例する。これは、菅野らによって初めて明確に指摘された。この結果は、血流量増大はエネルギーディペンデントでない可能性を示唆

しており、重大な意味を持つ。従来、PET の分野では、このようには考えてはいなかった。しかし、過呼吸時のデータにおいて、Heper-capnia から Norm-capnia の状態を正規化して差し引くと、肺筋の運動野の活性化が実際に観測された。正規化しないと、運動野は逆に抑制される結果が観測される。

一方、血流についてはグローバルな変動も大きく、10%/10分程度の自然な変動がある。ミクロにもこの変動は同じである。この点には注意が肝要である。

将来、デュアル PET にて心臓の血流量を同時計測すると、動脈採血は不要となる。病態生理化学と脳神経回路網、即ち、PET によるミクロとマクロの脳の観察は脳神経科学にとって不可欠であろう。

質問：小暮

代謝と血流が関連しないと言うのは、何とも受け入れ難い。実験はそのとおりに違いないので解釈の問題になると思う。以前、エネルギーデマンド（消費）を調べたことがあるが、hypo-capnia でも hyper-capnia でも下がる。つまり、カーブはドーム型となる。代謝要求量が減っても血流量は増えるというところまでは同じである。その先が異なる。

回答：今、自分自身、脳の血流とは何か分からなくなってしまうている。しかし、局所的にコントロールされるメカニズムを見て行きたいと考えている。そこが一番アンノウンの点である。

質問：栗城（電子工学）

活性化を見るためには、血流量で正規化した後で引算しないといけないということか。

回答：そうだ。水を使ったアクチベーションスタディで、10 数例について、10 分おきに 6 回計測したことがある。そのときのベースラインの変動は 10%程度。場所によってもこの変動は変わらない。局所とは別に、全体でコントロールしている機構があるということだ。

質問：田村（生化学）

生化学の立場からは非常に不思議である。その程度の

神経活動で酸素が非常に足りなくなり、予め血流を増やすということが基本的な機序とは思えない。先ほどのデータでは、弱年者でタスク時に血流が大幅に増え、高年齢の人で血流がそれほど増えないケースもあった。これからしても血流がエネルギーのために増えているとは思えない。タスク時に、血流が絶対に増える、あるいは増えなければならないというのは考えなおさねばならないのではないか。

回答：酸素が本当に要求されているか見直さなければならない。タスク時に血流が 3—4 割増えるのは、事実として受け入れられている。しかし、酸素は 8%程度。エネルギー要求が数%程度で、そんな血流の増加がいのかなと感じている。しかし、オプティカルイメージングで、還元型のヘモグロビンによると思われる信号が出ていることから酸素が使われていると考えた方が自然だが。

田村：その辺が、一番面白いところでは。

小暮：酸素飽和度を計ったら良いのでは。

菅野：酸素飽和度は PET では計れない。酸素は Fox が報告したように計れる。

工藤：蛍光イメージング

電気生理学では捉え切れないものがある。NADPH など、呼吸の酸化還元にててくるような自家蛍光 (auto-fluorescence) を発する。近赤外吸収によるヘモグロビン、チトクロームの計測もある。イントリンジック（内因性）の信号の発生原因として次の事項が考えられる。

1. Ion flow
2. Metabolic changes in redox level, NADH, NADPH, Oxygen saturation level of hemoglobin, Redox level Cytochromes
3. Blood volume change
4. Hemoglobin absorption
5. Water movement
6. Expansion

## 7. Contraction of extracellular space

現在、計測可能なプローブとして、蛍光によるものは、Ca, Na, Cl, pH, cAMP, CaMKII, Voltage. 細胞内の状態が計れる。細胞外のフリーのCaは2 m mol, 細胞内のフリーのCaは100 n mol以下である。イオングラジエントは、約2万倍(ただし、結合したCaも入れると細胞内外でCa濃度はほぼ同じ)。Caチャンネルが開くと直ちに細胞外のCa濃度は大きく減少する。これは細胞外のスペースが小さいため。このCaの動きが長期増強、長期抑制を通じて過疎性に関係している可能性が高い。シナプスの神経伝達物質の内最もサイトの多いのは興奮性神経伝達物のグルタミン酸。このレセプタに数多くのタイプが発見されている。特にMMDAレセプタは普段はMgにブロックされているが、非常に強い刺激がくると、Mgが外れてCaに反応するようになる。これによりモディフィケーションが起こる。これが長期増強。細胞内のCaを計るには、Quin 2, Fura 2などの蛍光標識を使用する。(ただし、共存物による蛍光強度変化には注意要。Caのみならず他の物質も計れる各種の蛍光試薬が開発されている。) 実際に蛍光試薬にて、グルタミン酸レセプタが働いたときにCaが細胞内に流入し、10  $\mu$ mの細胞内でも場所が限局されていることを確認した。さらに海馬で確認すると、グリア細胞でCa濃度が上がることを見出した。さらに、Ca1の長期増強時にCaが増大したことを見出した。Ca濃度が早くあがるのは神経細胞で、そのあと長い間上がっているのはグリアらしい。神経細胞1個だけを蛍光標識で見ると(ポストシナプティック)、Ca濃度はそれほど上がらない。すると、大量のCa流入はグリアに起因するのか。シナプス可塑性にCaMKIIが重要。蛍光標識の可能性は大きく、将来も明るい、これで〈心〉が分かるとは、まだ言えそうもない。

質問:

スパインについてCaイメージングをやって見たか。

回答: 現在やっている。極めて難しい。

渡辺: fMRIと光トポグラフィ

fMRIの計測原理は、脳の活性化領域の血流が増大し、一部の静脈中の血液が、動脈血化する現象に基づいている。脳の活性化により局所血流量が数10%増大(酸素消費は5%程度増大)することは、FoxらによるPETの研究で知られていた。(PETでも、この活性化に伴う血流量の増大によって脳の活性化を計測している。) fMRIでは、上記の動脈血化により、血液中の還元型ヘモグロビンが減り、酸化型ヘモグロビンが増えるために信号変化が得られる。還元型ヘモグロビンは常磁性であり、一方の酸化型ヘモグロビンは半磁性であるためである。常磁性の還元型ヘモグロビンは磁場の不均一を生じ、 $T2^*$ (見かけ上の横緩和時間)を減少させる。一方、反磁性の酸化型ヘモグロビンは周りの組織と同じ磁性のため、 $T2^*$ を減少させない。従って、安静状態では $T2^*$ が短く、活性化状態では $T2^*$ が長くなる。この差をもって、画像のコントラストを得る方法がBOLD(Blood Oxygenation Level Dependent)法であり、米国AT&TのBell LaboratoriesのS. Ogawaらにより、1992年に提案された。日立中央研究所も、同年の1992年に同様の結果を発表した。以降、東大医学部生理学教室を含めて共同研究を開始したが、本日報告するのは、その結果である。実際の計測データとして体性感覚野、視覚第4野(カラーセンター)の活性化を示す。従来、人間の脳カラーセンターの存在については諸説あったが、今回、mmオーダの高い空間分解能をもってカラーセンターを見出したことになる。さらに、色のついた残像を感じているときに、このカラーセンターが活性化していることも見出した。

さらに、新しい方法である光トポグラフィをやはり日立中央研究所との共同研究の結果として開発した。これは、近赤外光をもちいて頭の外側から内部を画像化するものである。800 nm付近の弱いレーザー光を、頭皮上から照射し、大脳疲質から反射してきた光成分を検知して画像化する。還元型ヘモグロビンと酸化型ヘモグロビンは異なった光吸収特性を持つので、両者を区別して計測できる。散乱成分が大きく絶対値は現在計測できないので、相対値により活性化部位を画像化できる。実際に、人間の運動野の活性化を、還元型ヘモグロビンと酸化型ヘモグロビンの画像によって確認した。

質問：菅野（医用物理）

近赤外の方法は活性化による信号変化はどの程度か。絶対値は何とか出せないか。

回答：定量値は出せないが、およそ5%程度か。むしろ共同研究者（装置）側の範疇だと思うが、医学側からも局所血流量が増えるメカニズムすら良く分かっていない。（血管が実際に開くのかどうか、あるいは毛細血管のヘマトクリット密度が増えるのか。）動物実験も必要。

質問：小暮

機能と関係付ける前に、1960年代の初めのファゼカス、1965頃のライヴィッチのCO<sub>2</sub>と血流の関係の仕事足を足掛りにしては。これをスタンダードに半定量化の実験ができるのでは。これらのデータベースを作っておいてから、機能に進んだ方が良いのでは。

回答：見ているのが表面からで、深さ方向の情報が不明瞭なので難しいものがある。PETとすり合せてみたい。

コメント：小暮

血流量と血流量は色々な実験条件の下で乖離することが見いだされている。ポスティシュケミックハイポフォレミックハイパーパフュージョンと呼ばれる。

質問：工藤（生理学）

750—850 nmの光だと、ヘモグロビン以外の信号も見れるのではないか。また、入射、検出のペアを沢山並べられないか。

回答：チトクロームなども計測できる可能性はある。また、また、入射、検出のペアを沢山並べられることも装置側で考えている。

#### IV. 脳活動の計測における問題点の提起

前日の講演では、非侵襲高次脳機能計測法の新展開について目を見張るような内容が提示された。しかし、その一方で、斬新な揺籠期の技術であるが故に、解決すべき課題も山積している。講演者はそれぞれの

分野の先駆者であり、その問題点と課題についても最も精通している。以下に、提示された問題点と課題を記す。

工藤：蛍光イメージング

蛍光イメージングは現在、まだ侵襲的。計測対象は脳の灌流切片である。従って、非侵襲的な新しい蛍光イメージングの可能性を追及しなければならない。可能性として、組織の深部まで到達できる赤外光を利用することが考えられる。このために、赤外波長域の蛍光体の開発が必要である。また、数100ミクロンの深さならば、赤外の顕微鏡がすぐに使用できる。

グリア細胞の研究は重要である。グリア細胞は、普段、顕微鏡で見えても多くの神経細胞、血管網と連絡している。神経細胞、血管とも何らかの重要な情報のやり取りがあるはず。現在の神経生理学は、神経細胞しか見ていない。脳の本質の半分を見落としている可能性がある。

光散乱についても不明点が多い。例えば、神経が興奮すると散乱光がとたんに増える。細胞の膨潤によることも可能性の一つであるが、原因の解明が必要である。

コメント：田村

蛍光のin vivo計測を、インドシアニンググリーンという肝機能を調べる色素を用いて行うことを検討中である。乳癌の臨床などに用いられぬかと考えている。光造影剤である。

コメント：小暮

軍用の赤外疑似カラーフィルムがあり、直接イメージングできる可能性がある。

質問：菅野

光散乱が変わるのは、体積などの物理的効化か、あるいはヘモグロビンのなどによるものか。また、3次元イメージングは可能か。

回答：両方あると思われる。さらに、それ以外のファ

クタがありそうだ。問題は個別のファクタの寄与率が分からないことだ。3次元イメージングについては、我々の分野では300  $\mu\text{m}$  見えれば十分だという意識だ。

質問：栗城

電位感受性色素に関連して。

回答：外因性、内因性の両方とも良く使われる。外因性の電位感受性色素を使用する場合にも、msの応答だけでなく、遅い反応だけが捕まえられるケースがある。これは、やはり電位によるが、どうもグリアに起因しているらしい。

質問：四方

近赤外顕微鏡を300  $\mu\text{m}$  より細い多くのファイバで作成し、小田先生のすだれコリメータ方式でイメージングできないか。

回答：非常に面白いと思う。

栗城：MEG

MEGは、前述のEPSPが主、IPSPは小さいとされる。さらに、外部から観測されるには、神経繊維が多く重ならねばならぬし、電流の位相が同期されねばならない。

それでは、活動電位は本当に出ないのか（集塊電位は発生しないか）。この点も、推定に近い。どのような神経集合体から実際の観測可能な磁場が発生しているのか、確とした実験データが無い。

文字、言葉についての実験をいくつか紹介する。平仮名数文字を提示し、数秒後に片仮名を提示し、同じであったかを答えさせるパラダイムを使用。片仮名一文字の時、潜時190 msあたりの信号は視覚の高次野に、200 msあたりで紡錘状回に、270 msあたりで、左右の両側頭葉に、370 msあたりでシルビウス溝の後ろに反応が見える。無意味文字では異なる部位が反応。これらのパラダイムには記憶関連も含まれており、さらに純化したパラダイムの開発が必要である。

MEGでは、活動している神経から形成されるダイ

ポールを仮定している。MEGは空間分解能が高い（数ミリ）といっても、ダイポールの位置を点で仮定している。しかし、実際には、活動領野が点であるはずがない。空間的な広がりを計測可能にせねばならない。そのためには逆問題解法が極めて重要である。

心理実験およびパラダイムの厳密性も重要である。〈心〉という言葉は不用意に使えない。高次機能として扱いたい。

コメント：佐々木（生理学）

活動電位は同期しない。電流が周囲へ拡散するために集塊電位としては弱くなる。

実際の細胞で、細胞内の電流分布の計測はやられていない。これは生理学者の怠慢である。実際の電気生理でも、活性化されている機能領野がかなり広い領域に分布していることがはっきりしている。なんとしても、面でダイポールが解析できるアルゴリズムが必要。

コメント：栗城

実際に集中して考えたり動作しているときには、ダイポールは一カ所に集中しているのではないか。

コメント：佐々木

そのようなことはない。実際に広い領野が一斉に活動している沢山のデータがある。それは電気生理学的にすぐ分かる。データは沢山あるがこれをどう処理して良いかが分からない。例えば、予告刺激があつて命令刺激がある場合である。ヨーイドンのケース。走るときに、ドンだけでは、飛び出すまでに0.5秒かかってしまうが、ヨーイがあると瞬時に飛び出せる。このとき前頭葉は全体が広く活動していて、それ以外の刺激を全く受け付けない。また、記憶などもそうだ。ワーキングメモリなど広い範囲が活動している。MEGでこのデータはとれる。しかし解析しようがない。これが本質的な問題点だ。

質問：四方

ダイポールが移る（動きまわっている）ということはないか。

回答：佐々木

そういう場合もあるが、実際、広い領野が活動している場合がある。数学の力を借りたい。

菅野：PET

PETはトレーサースタディである。実際上の空間分解能は、被爆線量を抑えるために、日頃数mmと言われているものより低い。酸素同位体の水による活性化研究では、最先端装置で約1cmである。血液量の問題が不明である。活性化により血液量は明らかに増大するが血液量はあまり変化しない(約1/5程度)。血液中の炭酸ガス分圧(PCO<sub>2</sub>)変化時に、血流(CBF)変化は1%/1mmHgCO<sub>2</sub>である。一方、血液量(CBV)変化は4-5%/1mmHgCO<sub>2</sub>である。

活性化時の蛍光測定と近赤外反射量計測の比較は良く一致する(UCLA)。

これは、近赤外で血液量(CBV)を計測していることを意味する。それなのに、近赤外にて脳の活性化を高い感度で計れるのが納得いかない。

神経が直接発する信号を一次信号とすれば、代謝変化による信号は二次信号である。PET、fMRIなどは二次信号を計測している。それなのに、神経活動と代謝変化(血液量など)がリンクしている根拠が不明瞭なのは大問題だ。

実際の計測では、S/Nの関係から数秒-数10秒の積算が必要。しかも、カテーテルからボーラスで入れることはボランティアに適用は困難。静脈から入れるために信号はなまる。

質問：渡辺(脳神経外科)

血液量の変化と血流量の変化に程度の差があっても、同じ傾向で変化していれば何も問題はないのではないか。

答え：気になっているのは、fMRI、NIRSで信号が発生するとされる局所血液量が大きすぎる感じがする点だ。静脈の動脈化が信号発生源とすると20%は大きすぎる。動脈の体積率は約5%、毛細管が約10%、

残りが静脈で約85%。静脈の拡張がそれほど大きいとは思えない。動脈のコントロールだけでは説明できない。

質問：小暮

血流を分離すればもっとすっきりするのは。

回答：今ではボーラスで入れることはしないので、ボーラストラッキングができない。ピークがなまり、また、S/N向上のために時間積分したデータでは実現困難。

質問：四方

なませかたを利用できないか。

回答：体循環でなまるので、制御は困難。

コメント：村山(医用物理)

現在、3次元PETをやっている。海外で急進展中、まだまだ発展できる。

田村：光CT

光CTの開発(コリメータファイバによる画像再生)について紹介。検知器と入射ファイバの距離について、欧米では3cm以上必要と主張したが、田村は1.5cmでOKとした。タイムオブフライト法、ピコ秒パルスによる時間分解法、TACシステムについて紹介。像再生はプロジェクション法であり、逆問題を解く必要がある。

現在、世界の最先端は、羊の頭でおよその画像(頭の輪郭程度)が出た段階である。この画像に関する実験では、羊の頭が使われスタンフォード大学のグループが発表した。

本質的な問題点は散乱光の処理である。拡散方程式で吸収と散乱光を分離できることが判明したので、数年後に絶対値も出せる可能性がある。現在は、スーパーコンピュータで計算時間が1時間とか必要であり、このあたりの数学も今後必要である。

質問：工藤

羊の脳の厚みはどのくらいか。また、計算に時間がかかる理由は。

回答：直径は約 10 cm、撮像時間は約 6 時間である。時間がかかる理由は、逐次処理のためであり、現在、並列処理を準備中である。

質問：大田  
物体の構造についての知識は必要か。

回答：基本的には、使わずに行きたい。しかし、最初は、MRI による構造情報を使うことも考えている。

小泉：fMRI

fMRI で神経活動を計測することによって〈心〉の物理計測が可能かどうか。

〈心〉の計測に立ち入る前に、神経活動が非侵襲的に計測できるかが、まず問題である。神経活動が正確に計測されるためには、神経活動と局所血流量／血液量がリンクすることが保証されねばならない。fMRI の最先端研究施設が取り組んでいる緊急の課題である。

現在、活性化開始から約 5–6 分程度で、ラクテートの濃度が最大になることが報告されている。グルコースの濃度は、少し遅れて最小となるとの報告がある。従って、神経活動の初期と、その後では異なった代謝系が働いているとも解釈される。しかし、まだ十分なデータが無いのが現状である。

グリア細胞の役割にも着目すべきであろう。アストロサイト上の解糖系がグルタメートによって駆動されることが最近明らかにされた。ミッシングリンクが他にもある可能性が考えられる。

物理的空間分解能と生理的空間分解能は異なることにも注意が必要。生理的空間分解能は、細静脈の灌流域で決まる。高空間分解 fMRI による実験から、我々は 1–2 mm と考えている。最近、視覚野の Ocular Dominance を観測できたようだという報告もあるが、慎重に受け止めたい。

ネズミのホイスキーパレルについての実験の紹介。イントリンシック信号とエクストリンシック信号の差は、二次信号に基づく方法の限界を示唆している。

負の信号の出現の原因も不明確である。負の信号には、初期の還元型ヘモグロビン増大によるイニシャルデップと、長時間にわたり負信号を生じる画素が存在するケースとがある。後者は、PET についても諸説あり、今後慎重に解明すべき課題である。

質問：イニシャルデップの原因に大変興味あるが、膜の透過性に関係するというのはどういうことか。

回答：神経興奮時に膜の透過性が変わり、画素内のミクロな流れや流動性を変化させるため、緩和時間が変わり負信号が生じるという説がある。イニシャルデップを最初に報告した Hennig が、最初の説を最近翻したため現在混乱している。

質問：工藤  
イニシャルデップの時間はどのくらいか。

回答：数 100 ms のオーダーである。

コメント：久留

脳の研究においては、マイクロの知識をもってマクロをみること、即ち、メゾスコピックなアプローチが重要である。投射繊維を別にして、大脳の中で最も長いもので約 15 cm（後頭葉から前頭葉）程度である。潜時によって、ほぼどれだけのシナプスを経たかは検討がつくのではないか。ただし、連合野は個人差も大きいし、調べるのが難しい。例えば、先程の栗城先生の MEG による文字判読過程の実験についても、読めない字の場合は、被検者は、まず脳内の辞書系に参照させているはずであり、単純なタスクとはなっていない。このように高次機能調べるためのパラダイムのデザインには極めて難しいものがある。今回、色々勉強したが、今後さらに勉強してみたいと考えている。

## V. 討議

討議に先立ち、まず、司会の小泉からパネリストに

対し、それぞれのパネリストが描いている〈心〉の定義について被歴するよう要請があった。この種の、Trans-disciplinary な討議には、まず最初に中心になる概念の整合を取って、共通の土俵を作る作業が肝要である。さもないと、基本的な議論のすれ違い、或いは、相手の論旨の重大な誤認を、討議の後半になって気付くことが多い。特に、〈心〉のような抽象的なキーワードには、まず、共通の理解、共通の認識の基盤が必要である。それぞれのパネリストが描いていた〈心〉の定義を以下に記すが、予期した以上にさまざまな見解が被歴されている。ここに見られるように、〈心〉という概念の整合を取ることは極めて困難であるが、少なくとも、議論の相手である他のパネリストが、〈心〉をどのように捉えているかを最初の段階で知ることは必要と思われた。

#### 〈心〉の定義

**菅野 (神経生理学, 医学, 数学) :**

言葉で表現できる心象, 表象, あるいはアテンションとして観測され得ると考えている。

**渡辺 (脳神経外科, 神経生理学) :**

計測で捉えようとすると、記憶、アテンションからか。

**佐々木 (医学, 神経生理学) :**

ポッパーは観念論的立場から、メタフィジカルな事象と、フィジカルな事象との二つに分けて心考えた。神経科学者は、神経活動と精神活動が対応付けられるとの立場を採っているが、当面はなかなか一対一対応が困難。しかしながら、まず、コリレーションを一つひとつ丁寧にとっていくことから始めるべきと考えている。実際には、ラジカルメンタリズム、ラジカルリダクショニズムの間を揺れ動いているというべきであろう。

**小田 (物理学, 天文学) :**

心の病気、そのなかで心の存在に気付くのか。普段は、精神活動、音楽、絵画など芸術に触れるときに、心を感じるのか。或いは、物理的なものを差し引いた残りが心なのか。

**小暮 (神経内科, 生理学) :**

イニシエーション、インプリンティングなど、まず、抽象的な概念を言葉を使わずに伝達する過程がある。そして、言葉をもって社会的通念が伝承される。ここに、心の発生の過程がある。心は環境に対して自分自信を主張する原点でもある。自分は、心は計測可能と考えている。

**工藤 (神経生理学, 化学) :**

心、心と日頃盛んに言っていたわりには良く考えていなかった。

人間以外に心はあるか。猿や猫にはありそう。しかし、とかけにはあまり有りそうにない。すると、脳の大きさに依存していることになる。特に前頭葉に関係ありそう。

そうすると、計測可能と考えられる。

**栗城 (電子工学) :**

行動により、心が対応付けられる。

**諸富 (心理学) :**

刺激と反応の間に遅延が存在するときに、その遅延の媒介が心の発生と関係する。

自分は行動が統合される機構を明確にしたい。刺激と行動の対応から、内的な過程を客観的に推定できる。新しい計測法により、もう少し科学的な対応付けができるのではないかと期待している。

**渥美 (精神科, 教育学) :**

心は一般的に定義されていない。特に日本では、情緒的なものを含めて理解されている。感情、たとえば嬉しいことも心の働きか。感覚から情報を得て、情動を介して行動が起きる。これからの新しい計測により、また別の心の定義が生まれる可能性があり楽しみにしている。計測によって、将来、心の概念形成が出来るのではないか。

#### 神経活動と代謝系のリンク

〈心〉の議論で明らかになったように、少なくとも〈心〉の一部は脳内の神経活動と密接にリンクしており、神経活動と精神活動とについて、丁寧に一対一対

応を付けて行くのが、科学的に心を解明して行く今後のアプローチであろう。そのためには非侵襲的に健常人の脳内神経活動を計測する手段が必須となる。前日の講演で明確にされたように、現在、極めて有望な新しい非侵襲計測方法論が生まれつつあるが、MEGを除き、それらは全て神経活動を一次的に直接計測するものではない。神経活動に伴う代謝変化を捕える手法であり、所謂、二次信号を計測し間接的に神経活動を知るものである。それでは、この二次信号が的確に神経活動を反映しているかが本質的な問題点となる。即ち、神経活動と代謝系がしっかりとリンクされているという明確な根拠が必要である。既に歴史を持つPETでは、神経活動と代謝系のリンクは当然のものとして常識とされている。fMRIでも、神経活動と代謝系のリンクを前提として多くの結果が発表されてきたが、最先端の研究施設では、このリンクにまだ隠されたものがあることを直感し、新たな研究が鋭意進行中である。さらに、NIRSでは神経活動と代謝系のリンク自体の矛盾点についても指摘され始めている。このNIRSにおける実験データの数々の不整合についても、討議の中で報告された。

#### 星（小児科，神経生理学）：

1. fMRI, PETにおいて反応時間は500ms程度である。最初の反応までの時間がかかなり短い、最初のイニシャルとなるトリガーは何か。血液中のCO<sub>2</sub>分圧による受動的な血流制御だけで、どうして血管系の上流を制御できるのか。神経末端が血管に至っている可能性は強いが、まだ、明確なエビデンスがない。光で見る限り、酸化ヘモグロビンも減っているような、オーバーコンペンセーションでないケースも多くある。

血流調整はもっとラフなものなのかも知れない。

2. 細胞外液でラクテートが増えている所見は多い。ラクテートを別目的に使っている可能性もある。一方で血流増大は、ラクテートの洗い出しとの説もある。

PETはグルコースの取り込みを見ているが、全てが消費されているとは限らない。取り込まれても使われないかも知れず、酸素摂取が増えない事実の

みからミスマッチと決めつけられないかも知れない。

3. 確かに解糖系が動いているとするならば、なぜ、ミトコンドリアが動かないのか。なぜ、みすみす効率の悪い代謝回路の方が働いているのか。

4. 神経活動とともに血液量が減る実験例もある。暗算時に脳全体の血流が下がるという実験例もある。レストイングがどの状態なのか。コントロールをどの状態にとるか。

覚醒時の状態コントロールは極めて難しい。

上記の報告をベースにさらに議論が進められた。

#### 菅野：

確かに、PETでもヘビーなタスクでは脳血流が落ちることが実測されている。

#### 工藤：

神経の実験にて、酸素が不足してもなかなかへたらない。しかし、グルコースがないとすぐに駄目になる。ということは嫌氣的解糖系が動いている。皆、血流調整系に拘泥しているが、問題はどのエネルギー供給系が働いているかだ。

#### 小暮：

逆の意見。脳は酸素供給がなくなって処置できるのは12秒以内。アラキドン酸は10秒にて現われる。数10秒内で起きている内容を、分あるいは10分程度でものを言うのはおかしい。脳の本質的現象は分をこえることはない。

#### 田村：

問題はエネルギーデマンドへの対応だ。解糖系、酸化的磷酸化、あるいはクレアチンホスフェートのようなバッファー系が対応しているかを明らかにすることだ。

さらに、MEGについても、本当に神経活動を的確に捉えているかという議論がなされた。

#### 佐々木：

MEGで、てんかんのフォーカスは動き回る。本当の神経活動をみているのかと思うことがある。

渡辺：

MEGでは焦点のディスチャージそのものを見ているわけではない。しかし、インダイレクトではあるが、実際の焦点として手術して成功している。

佐々木：

動物実験の必要性がある。MEGでは、第一次感覚野についてさえ動物できちんとやられていない。ベータ波はEEGと異なり、多くの涌きだしが観測される。

### 議論の纏め

白熱した議論を通じ、問題点がかなり見えてきた。最後にフロアの方々のご意見も伺って締めくくるとした。

下沢（神経生理学、認知科学）：

〈心〉は実際に計測されてきた。問題は今後、要素還元できるかという点である。

人間同志はコミュニケーションを実際にはやってきた。人間の〈心〉と〈心〉の途中を物理量でつないでやってきた。その意味で、〈心〉は既に実際に計測できている。非侵襲計測法とは、磁場のように人間には感じられないもので、心を評価しようとしているか。それによって要素還元して、心が計れると考えるのか。

〈心〉は主観的か。それで物理計測したら客観的と言えるのか。それによって、氷山の一角だけしか見えない〈心〉の全体が見えるようになるか。

渥美：

物理計測しないと科学と言えないとするならば、精神医学は科学かということになる。精神医学においても、〈心〉をできるだけ客観的に計測しようと努力している。それに訓練された精神科医なら顔をみただけで脳波など想像がついてしまう。

全体の纏め：小泉

昨日は、まず最初に、〈脳神経系〉と〈微細循環系〉について、その〈形態（構造）〉と〈機能〉についてお話し戴いた。その後、最先端の〈無侵襲高次脳機能計測法〉を中心に、最近の成果を講演戴いた。そして、〈脳〉の〈構造〉と〈機能〉が具体的にどこまで現在計測可能かを把握することによって、〈高次脳機能〉即ち、〈心〉に対して〈科学的〉にアプローチできそうな心証を固めることができたように感じる。しかし、〈心〉の問題は、人文学にとっても自然科学にとっても最大の課題であり、軽はずみに取り組むことはできないと思われる。憶測が憶測を呼び、憶測が一人歩きするようなことは避けねばならない。そのためにも本日は、計測方法論の現状の問題点を洗い出して、それを直視し、さらに〈心〉の概念自体の不明瞭性をも最初に確認し、その共通基盤に立って議論を進めてきた。今回の、シンポジウムは〈心〉の科学的研究への最初の一步を踏み出すためのものであったと感じる。深い内容の議論と数々の有益な示唆を戴いた講演者ならびにフロアの方々に心から感謝したい。（文中敬称略）

注記：本シンポジウムの概要は、医学誌〈INNERVISION〉により報道された。

“IVリポート：北海道大学電子科学研究所公開シンポジウム：脳と計測一心の研究へのアプローチ”，INNERVISION, 11-6, 80-82 (1996).

**電子科学研究 第4巻**

---

1997年2月28日

編集 電子科学研究所出版委員会

印刷 (株)アイワード

---