

Radiological Sciences

# 放射線科学

2009.09

Vol.52

第52巻 第9号



特集

「放医研第15回公開講座」

—放射線・人の心・重粒子線がん治療を知る—

最近のトピック

「論文引用動向からみる

近赤外脳機能イメージング研究のエポック」

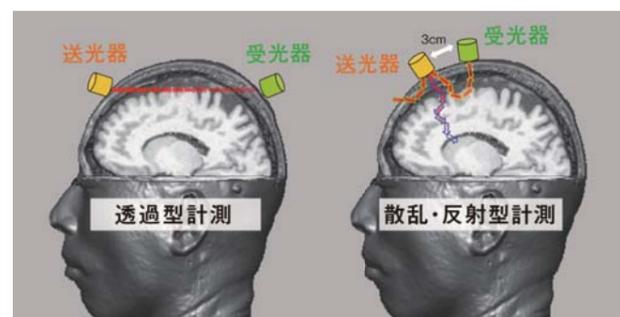
ISSN 0441-2540



第15回放医研公開講座は「放射線・人の心・重粒子線がん治療を知る」とのテーマで開催しました(2009.09.11.:当所重粒子治療推進棟大会議室)。写真は講演中の会場の様子です。本公開講座は3名の演者により興味ある講演があり、会場がほぼ満席となる105名の多くの方にご参加頂き盛会の内に終了しました。



近赤外分光分析法(NIRS)の計測風景：ごく普通の環境で、無侵襲かつ低拘束な状態で脳機能計測をおこなうことが可能です。



透過型計測と散乱・反射型計測の模式図：  
左図のように、Jobsisの発明以来、研究者は、近赤外光は生体組織内を直線的に進むと考えていました。ところが実際には、右図のように、近赤外光は生体組織内をさまざまな方向に散乱しながら進んでいきます。中には、受光器とはちがう方向に散乱する光(緑枠)、脳の内部で減衰してしまう光(青枠)などもありますが、生体組織内を散乱しながら、受光器にたどりつく光(黄枠)もあります。この光が運ぶ脳からの信号をNIRSは検出します。



重粒子医科学センター病院前の花壇のペゴニア

## Contents

特集／放医研第15回公開講座 -放射線・人の心・重粒子線がん治療を知る-

- 04 1)「放射線と健康影響」  
-JCO臨界事故を振り返る-  
緊急被ばく医療研究センター 被ばく医療部 蜂谷みさを
- 07 2)「ねたみの脳科学」  
-他人の不幸を喜ぶ気持ちがどうやって生まれるか?-  
分子イメージング研究センター 分子神経イメージング研究グループ 高橋英彦
- 10 3)「重粒子線がん治療」  
-頭頸部悪性腫瘍を中心に-  
重粒子医科学センター病院 神宮啓一  
重粒子医科学センター病院 溝江純悦、長谷川安都佐、別所央城、鎌田正、辻井博彦
- 14 最近のトピック  
「論文引用動向からみる  
近赤外脳機能イメージング研究のエポック」  
(独)農研機構 食品総合研究所 食認知科学ユニット 檀一平太

## 27 印象記／弘前大学国際シンポジウム(1)

弘前大学大学院保健学研究科  
「第1回 緊急被ばく医療国際シンポジウム」開催

-放射線基礎研究から緊急被ばく医療まで-  
緊急被ばく医療研究センター 被ばく医療部 障害診断室 立崎英夫

## 31 印象記／弘前大学国際シンポジウム(2)

弘前大学大学院保健学研究科  
「第1回 緊急被ばく医療国際シンポジウム」開催

-放射線基礎研究から緊急被ばく医療まで-  
国立大学法人弘前大学 保健学研究科 山田修平

34 講演会のお知らせ  
放医研 HIMAC15周年記念講演会「重粒子線がん治療の15年」

35 編集後記

## 1) 「放射線と健康影響」

—JCO臨界事故を振り返る—

Radiation and its health effects

-Lessons learned from the JCO criticality accident -



蜂谷 みさを (Misa Hachiyu)

緊急被ばく医療研究センター  
被ばく医療部 主任研究員  
蜂谷 みさを

### はじめに -JCO臨界事故から10年-

1999年9月30日午前10時35分頃、茨城県の核燃料加工施設でウラン溶液が臨界状態に達し作業員3名と関係者ばかりでなく住民が被ばくしました。わが国の原子力・放射線災害で初めて屋内退避、避難が実施され、不幸にも高線量被ばくした作業員3人中2人が被ばくによる多臓器不全で死亡するなど最悪の事故となりました。また、この事故は、風評被害など精神的、社会的、経済的影響も大きいものでした。10年が経過した今、JCO臨界事故での住民の被ばくを中心に振り返りながら、「放射線と健康影響」について述べたいと思います。

### 放射線と放射性物質(被ばくと汚染)

JCO臨界事故というと、保健所や体育館で住民の体を小さな機械(GMサーベーター)で測定していた場面

を思い出す方も多いのではないのでしょうか。実際は、必要なかったのではないかと専門家もいます。それはなぜでしょうか。JCO臨界事故では、上述したようにウラン溶液が臨界状態に達し、核分裂が起きました。その結果、ガンマ線と中性子線の2種類の放射線が放出し、低線量ではありましたが住民の方までも被ばく(外部被ばく)をしてしまったのです。また、核分裂で核分裂生成物と呼ばれる放射性物質が生成されました。1986年に起きたチェルノブイリ事故では原子炉が爆発してしまっただけで、これらの放射性物質が環境中に放出されてしまいました。JCO臨界事故では爆発は起こりませんでしたので、極わずかな放射性物質しか環境中へ放出されませんでした。そしてその量は環境や体に影響を与えるレベルではなく、実際、土や水、野菜などを測定すると放射性物質の濃度は自然界のレベルとあまりかわらな

い値でした。つまり、この事故で生成した放射性物質が住民の体に付着(体表面汚染)したり、体の中にはいってしまう(体内被ばく/体内汚染)可能性も低く、体中にはいったとしても影響を与える心配はありませんでした。JCO臨界事故では、臨界がおきていた間の中性子線とガンマ線による外部被ばくが問題となりました。そのために、体表面汚染の検査は必要なかったと言う人もいたわけです。

放射線の被ばくには、前述しましたように体から離れた線源(放射性物質)やX線発生装置からの被ばくと、体表面や体内に取り込まれた放射性物質による被ばくがあります。発生装置は電源を切つてしまえば放射線は発生しません。また線源(放射性物質)を遮蔽する(放射線を止め、弱くする)、線源からの距離を長くする、被ばくする時間を短くすることで、被ばく量を減らすことができます(外部被ばく防護の三原則)。放射性物質やX線発生装置からの距離を例にすると、被ばく線量は距離の二乗に反比例して減少します。たとえば線源からの距離1mのところから1時間いたときの被ばく線量を100mSv(ミリシーベルト、放射線に被ばくしたときに体に与える影響を示す単位)だったとすると、10mならば線量はおよそ1/100の1mSvに、100mならば線量は1/10000の0.01mSvになります。

### 放射線の種類

放射線の種類には前述したガンマ( $\gamma$ )線、X線、中性子線のほかにアルファ( $\alpha$ )線、ベータ( $\beta$ )線等があります。アルファ線は通り抜ける力が弱く、薄い紙で止まり、空気中で数cm、皮膚に付着してもマイクロメートル( $\mu\text{m}=1/1000\text{mm}$ )の深さまでしか進むことができません。アルファ線を放出する放射性物質は体内に取り込まない限り体に影響を与えません。ベータ線はアルミなどの薄い金属で止まり、空気中で数m、生体を数mm突き進みます。アルファ線とベータ線と比べてガンマ線は物質を通り抜ける力が強く空気中を数10メートル以上突き進み、これを止めるには厚い鉛や鉄が必要です。臨界のように核分裂が起きたときに発生する中性子線はさらに物質を通り抜ける力が強く厚い鉛や鉄では止めることができず、水やパラフィンで減速することができます。このように放射線の種類によって物を透過する力が異なるなど、放射線の種類によって体を与える影響も変わってきます。JCO臨界事故では物質を通り抜ける力の強い中性子線とガンマ線によって作業員や住民が被ばくしました。

### 放射線と健康影響

放射線による健康影響は、放射線の種類、被ばくの形態、線量などによって異なります。JCO臨界事故時の線量測定・推定の結果、臨界が起こった容器のすぐそばで作業をしていた作業員2名の被ばく線量は、それぞれ16-25、6-9 GyEq(グレイイクイバレント;ガンマ線に被ばくしたときに相当する線量)、部屋の外にいた作業員は2-3 GyEqでした。作業をしていた2名はできる限りの治療が行なわれましたが、それぞれ83日、211日目に多臓器不全により亡くなりました。他の1名は白血球数の減少や一時的な脱毛が見られましたが、血小板の輸血、無菌室管理を行い回復し、現在は通常の生活を送っています。何の治療もしないと4 Sv(4000 mSv)の被ばくをした約半数が、8 Sv以上では大多数の方が死亡します。

住民の中で最も高い線量は21 mSvです。これは、おおよそ腹部のCTを2回受けたときと同じ線量で健康影響の心配はありません。こう言えるのは、今までの経験や実験から線量がわかればどんなことが体に起こるかが推測できるからです。私たちは普通の生活をしていても1年間に約2.4 mSvの被ばくを受けています。体の中にも放射性物質があります。それではどのくらいの線量を被ばくしたら体に影響がでるのでしょうか。もし、一瞬で全身に被ばくをすると、500 mSvで白血球のなかのリンパ球数が一過性に減少し、線量が高くなるにつれ、骨髄、消化管、循環器・神経系に症状が現れ重篤になります。皮膚では2000 mSvから、一時的な紅斑の症状が現れます。目に500 mSv以上の被ばくをすると数ヶ月以降に水晶体に白濁が生じます。また、胎児は100 mSv以下ならば放射線の影響はないと考えられています。一方、がんに関しては原爆被爆者の疫学調査から放射線被ばくによる固形がんや白血病で過剰に死亡する確率は、100-200 mSv以下では有意な増

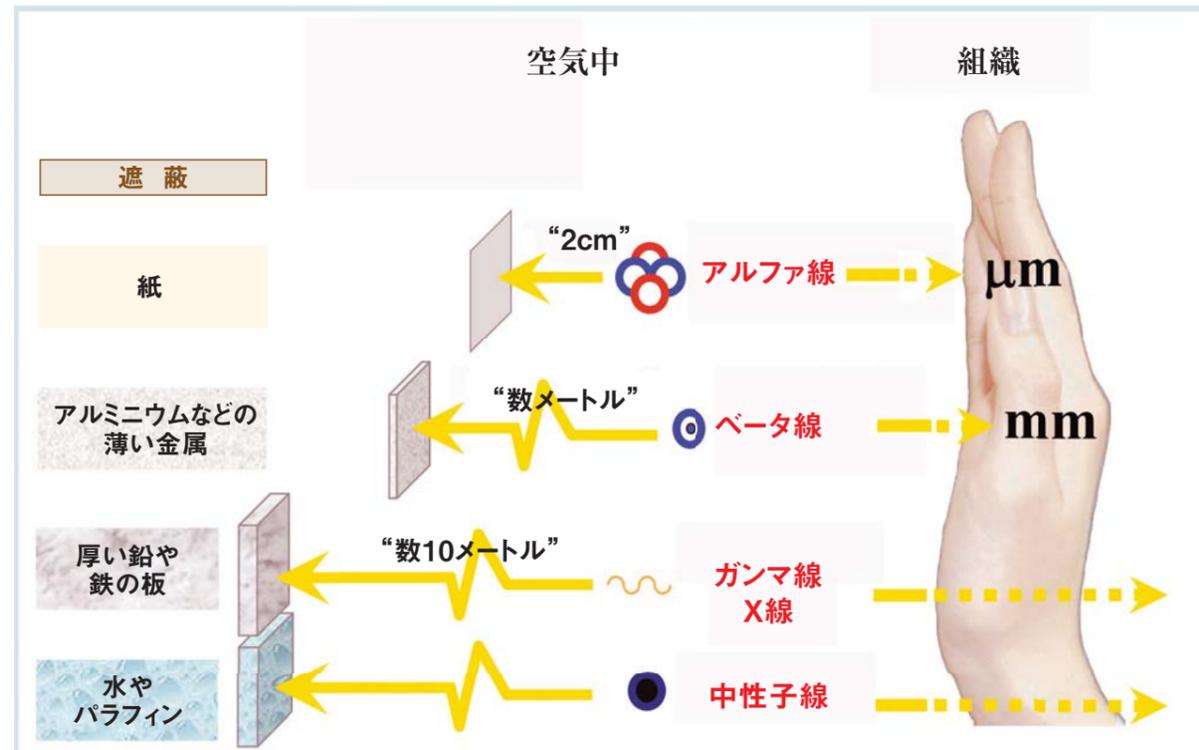


図1: 放射線と透過力

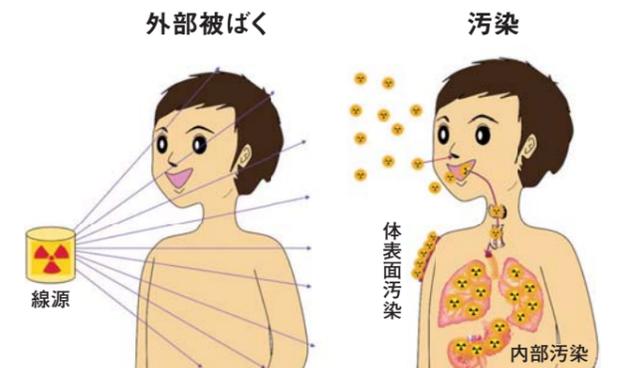


図2: 被ばくと汚染

加はみられていません。また、遺伝的影響も人では報告されていません。これらのことから、住民がうけた線量は急性期はもちろん後期に現れる障害も含め無視できるレベルであり、放射線による健康影響をまったく心配する必要はありませんでした。

### 放射線防護のための数値

メディアは、放射線の事故が起きると、線量限度・退出基準・安全基準値の何倍、何十倍、何百倍というように、放射線の線量や放射能濃度を現し、事実であってもなんとなく住民の不安を増すような見出しが大きくなります。これらの基準値は、人々を放射線から守るため、できる限り不要な放射線は浴びないようにと放射線防護、安全管理の考えで決めたもので、この数値を超えるとすぐに健康影響が現れるという値ではありません。例えば、一般公衆の被ばく限度は年間1 mSvとされています。JCO 臨界事故では住民の最大線量は21 mSvでしたので、1年間での限度の21倍となります。しかし、前述したようにこの値は急性期はもちろん晩発期にも健康影響を与えません。

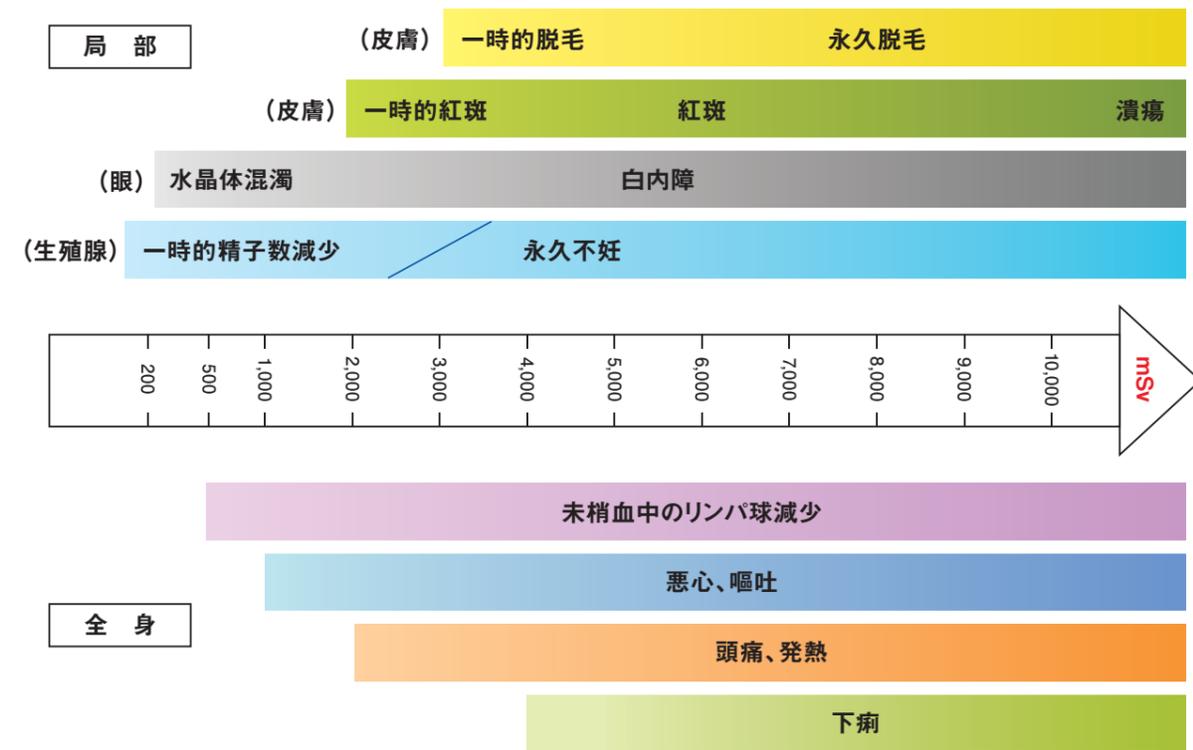


図3: 線量と人への影響

### 終わりに

私たちは被ばくしても五官で感じる事ができず、また放射線による症状はすぐ現れません。このことも放射線被ばくによる不安を増します。JCO 臨界事故後においても、住民は健康影響を心配する必要が無かったにもかかわらず、たいへんな精神的ストレスをうけました。事故を伝える中で、放射線、放射能、放射性物質という言葉が情報を与える側も受ける側も混同しており、情報が不十分であったり、間違ったりしたものもありました。このように、正しい知識と情報を正確に伝えられなかったことも被害を大きくした原因の1つであったと思います。放医研では、JCO 臨界事故の際、メディアや住民に対して放射線の健康影響について説明を行ない、正しい判断をしてもらい不要な不安を取り除くことにも努めました。この事故後、わが国の被ばく医療体制は、誰に対しても最適な医療を行ない、心のケアが行なわれるなどの見直しを重ねています。放医研も住民に情報を提供する努力を続け信頼される研究所を目指しています。

(出展: 原子力安全委員会 健康管理検討委員会報告 平成12年、他)

## 2) 「ねたみの脳科学」

-他人の不幸を喜ぶ気持ちがどうやって生まれるか?-

Neural correlates of envy



高橋 英彦 (Hidehiko Takahashi)

分子イメージング研究センター  
分子神経イメージング研究グループ 主任研究員  
高橋 英彦

分子イメージング研究センター\*<sup>1</sup> 分子神経イメージング研究グループ 脳病態研究チームの最終的な目標はPET\*<sup>2</sup>を中心にした分子イメージングの手法を用いて、精神神経疾患の脳の機能異常を分子レベルで画像化(可視化)して、精神神経疾患の診断や治療に役立てるといふものです。しかし、うつ病や統合失調症といった精神疾患は、そもそも診断のための病気の定義や捉え方にも絶対的なものが存在していないのが現状です。それにはいくつかの理由がありますが、ひとつには、気分が落ちこむとか、幻覚を体験するといった主観的な症状を客観的に評価することが困難なためです。そこで私たちは最終目的を達成するために、まず主観的な感情・意思決定・動機などの精神活動を客観的に評価する方法を確立する必要がありますと考えています。また、いきなり分子レベルの精神疾患の理解といっても、精神疾患は多彩な症状を示します。そこで、ある症状には広い脳内のどの部位が責任をもつのかも理解する必要があり、そのために私たちはfMRI\*<sup>3</sup>という手法を使っています。今回、お話しするのは、この最終的な目標の一手前の成果と理解して下さい。ある主観的な精神活動をfMRIで客観的に捉え、その責任脳部位を特定した後に、その脳部位において分子レベルで精神疾患では何が起きているか検討していくという戦略です。今回は妬みという感情の脳内過程についてお話いたします。

### 背景

妬みは、他人が優れた物や特性を持っていることによる劣等感や敵対心を伴う心の痛みです。私達の自己評価をする時、自己に関係した特性や関心を持った人間との比較によってなされることが多いと思われます。自己にとって関連の高い優れた物を他人が所有していると妬みが生じます。しかしながら、他人が持っている物や特性が非常に優れていても自己にとって関連のないものであれば、それほど妬みは生じません。また、他人に不幸が起きた時、私達は通常は同情しますが、他人が妬みの対象になった場合、不幸が起きると「他人の不幸は蜜の味」

というある種の喜びすら感じてしまうのです。

このような私達が普通を感じる感情について脳内のどの部位が関係しているかこれまでほとんどわかっていませんでした。また他人の不幸を喜んだり切望したりする感情は、しばしば非道徳的な行為や犯罪にも結びつきます。

### 研究手法と結果

- 被験者: 健康な大学生19名
- 研究方法: 被験者にあらかじめ被験者本人が主人公であるシナリオを読んでもらった。主人公は大学生で、学業成績や経済状況などにおいて平均的な物を有している。シナリオには被験者本人以外に、以下の3人の登場人物が存在する(図1a)。
- 学生A(自己との関連が高く、上級): 被験者と同性で、進路や人生の目標や趣味が共通で、かつ被験者より上級であったり優れた物や特性(学業成績、所有する自動車、異性からの人気など)を多く所有している。
- 学生B(自己との関連が低く、上級): 被験者と異性で、進路や人生の目標や趣味は全く異なるが、被験者より優れた物を多く所有している。

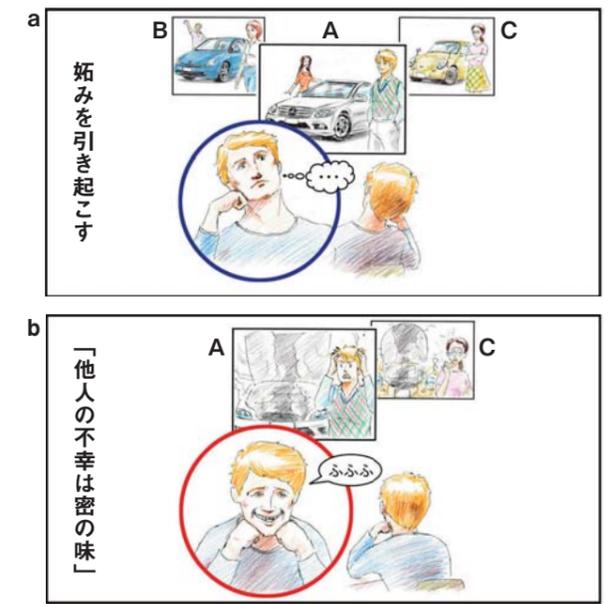


図1

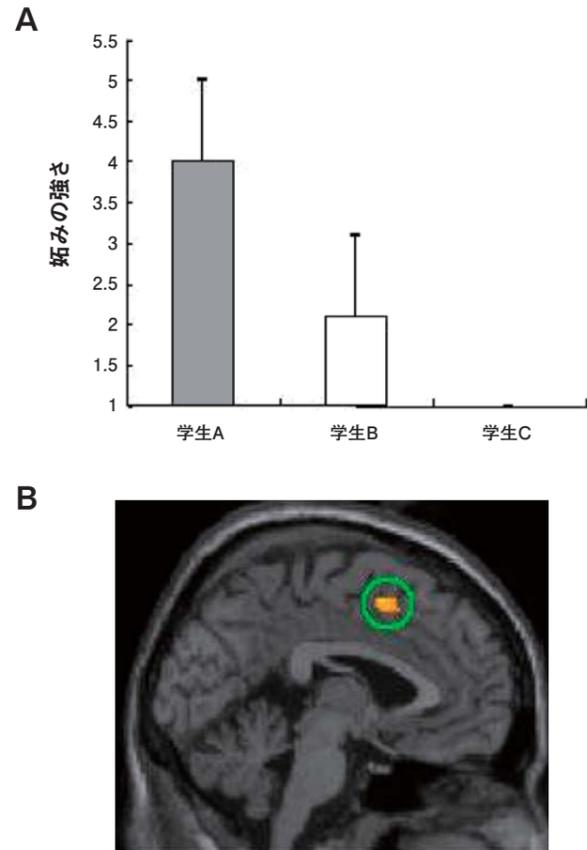


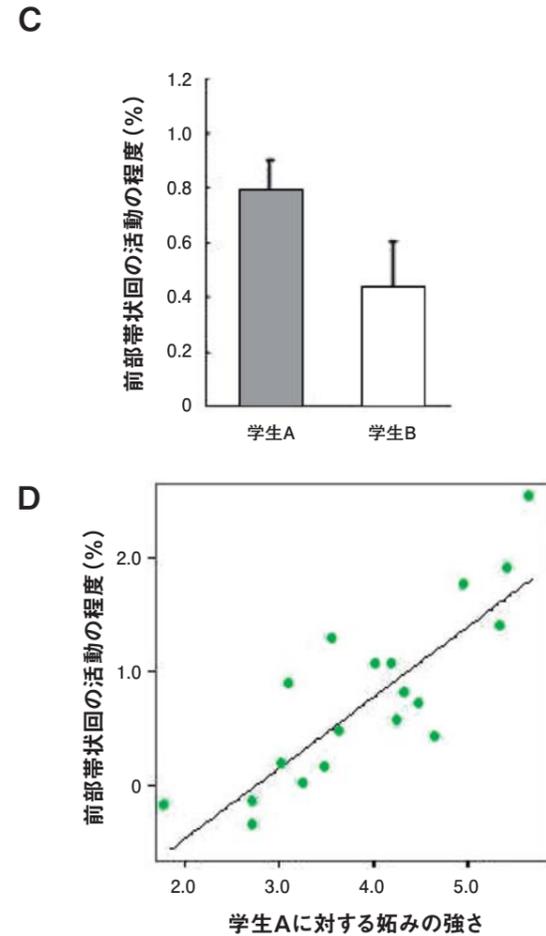
図2

学生C（自己との関連が低く、平均）：被験者と異性で、進路や人生の目標や趣味は全く異なり、被験者と同様に平均的な物を所有している。

■実験1：被験者がシナリオを読んだ後、学生A、B、Cに対する脳活動をfMRIにて計測した。その後、学生A、B、Cに対する妬みの強さを6段階（1=全く感じない、6=非常に強く感じる）で評定してもらった。

■結果1：学生A、B、Cの順に妬みの評定は高かった（図2a）。それに対応するように学生A、Bに対して前部帯状回<sup>\*4</sup>に活動（図2b）を認め、かつ学生Aに対する前部帯状回の活動は学生Bに対するものより強かった（図2c）。また、妬みの強い被験者ほど、前部帯状回の活動が高いという相関関係（図2d）が観察された。

■実験2：学生AとCに不幸（図1b）が起こると言うシナリオを読み、脳活動をfMRIにて計測した。その後、学生AとCに起こった不幸に対して抱いたうれ



しい気持ちを6段階（1=全く感じない、6=非常に強く感じる）で評定してもらった。

■結果2：学生Aに起こった不幸に関しては、中等度のうれしい気持ちが報告されたのに対して、学生Cに起こった不幸にはうれしい気持ちは報告されなかった。それに対応するように学生Aに起こった不幸に対して線条体<sup>\*5</sup>の活動（図3a）を認めたが、学生Cに起こった不幸に対してはそのような活動は認められなかった。また、不幸に対するうれしさの強い被験者ほど、線条体の活動が高いという関係（図3b）も見出された。

### 本研究の成果と今後の展望

身体の痛みに関係する前部帯状回が心の痛みである“妬み”にも関与していることは興味深く、この活動が他者と自己との関係性で変化することもわかりました。妬みの対象の人物に不幸が起こると、自身の相対的な劣等感が軽減され、蜜の味と感じる心地よさのメカニズムが脳科学的に示されました。

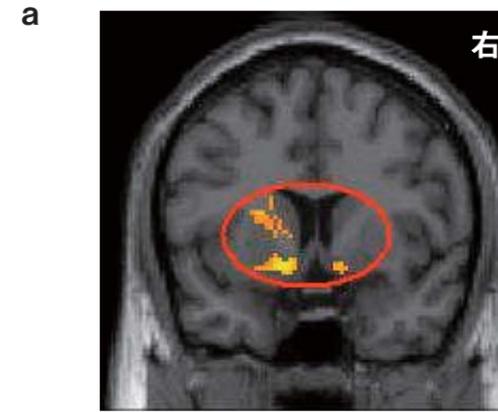


図3

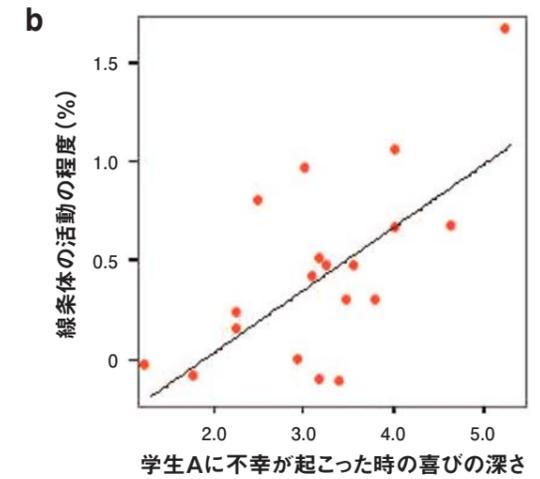
心に痛みを抱えた人は、その心の痛みを軽減するために、他人の不幸を喜んだり、不幸そのものを引き起こそうとする非建設的な行動を取る場合があります。時には犯罪につながるケースもあります。心に痛みを持っている人をケアしたり、そのために起こる犯罪などを防ぐには、精神状態を客観的に評価し、次の精神状態を予測して、建設的な問題解決策を提示する科学的な心理カウンセリングが有効であると考えられます。本研究の成果は、このような手法の開発や情操教育といった心理、精神医学、司法や教育に関連する分野への応用が期待されます。

今後は、分子レベルのメカニズム解明を行うため、生体内で報酬系と呼ばれるドーパミン<sup>\*6</sup>などの神経伝達物質の挙動をPETを用いて解析し、神経伝達物質がこれらの感情や脳活動にどのようなはたらきを担っているかを明らかにして、カウンセリングと薬物を統合した心の痛みに対する科学的治療法の確立を目指す予定です。当所の世界的にもトップクラスの分子イメージング技術を脳科学研究に応用し、これまで解明が困難であった様々な人の精神活動を分子レベルで明らかにしていきます。

### 用語解説

#### \*1：分子イメージング研究センター

平成17年度に放医研に創立された分子イメージング研究を行っている研究センター。腫瘍や精神疾患に関する基礎研究や臨床研究のほか、分子プローブの開発や放射薬剤製造技術開発、PET開発やMRIの計測技術開発など、分子イメージングの基礎研究から疾患診断の臨床研究まで幅広い研究を行う世界屈指の分子イメージング研究拠点。文部科学省が推進する「分子イメージング研



究プログラム」の「PET疾患診断研究拠点」として選定を受けている。

#### \*2：PET

ポジトロン断層撮像法（positron emission tomography；PET）のこと。画像診断装置の一種で陽電子を検出することによって様々な病態や生体内物質の挙動をコンピューター処理によって画像化する技術である。

#### \*3：fMRI

機能的核磁気共鳴画像法（functional magnetic resonance imaging；fMRI）のこと。MRIを高速に撮像して、神経細胞の活動に伴う血流動態反応を視覚化することにより、運動・知覚・認知・情動などに関連した脳活動を画像化する手法である。

#### \*4：前部帯状回

帯状回は大脳皮質の一部でその前部は前頭葉内側の一部をなす。注意機能といった認知機能や大脳辺縁系の一部として情動反応にも関わる。また痛みや葛藤の処理にも関わっている。

#### \*5：線条体

線条体は終脳の皮質下構造であり、大脳基底核の主要な構成要素のひとつ。ドーパミンが豊富な部位で運動機能への関与が最もよく知られているが、報酬系の一部で、心地よい感情や意志決定など情動や認知過程にも関わると考えられている。

#### \*6：ドーパミン

中枢神経系に存在する神経伝達物質であり、運動調節・認知機能・感情・意欲・学習などに関わる。ドーパミンは脳内の線条体と呼ばれる部位において多く認められる。

### 3)「重粒子線がん治療」

—頭頸部悪性腫瘍を中心に—

Carbon ion radiation therapy for head and neck cancer

重粒子医学センター病院 医師  
神宮 啓一

重粒子医学センター病院  
溝江 純悦 長谷川 安都佐 別所 央城 鎌田 正 辻井 博彦



神宮 啓一 (Keiichi Kamimura)



#### はじめに

当院における重粒子線治療とは、シンクロトロン(HIMAC)により炭素イオンを光速の約80%の速度まで加速し、体外から癌組織にぶつける方法であり、放射線治療の一種です。一般に用いられる放射線(X線や電子線)に比べ、生物学的効果比が約3倍であることやその線量分布のよさで、より高い効果が望めます。

当施設では1994年より炭素イオン線によるがん治療を開始し、2003年に先進医療として認可されました。2008年度までに4500名を超える患者さんを治療して、このうち頭頸部領域の腫瘍に対しては、500名以上の方の治療を行ってきました。その経緯や治療成績、副作用などを中心に述べます。

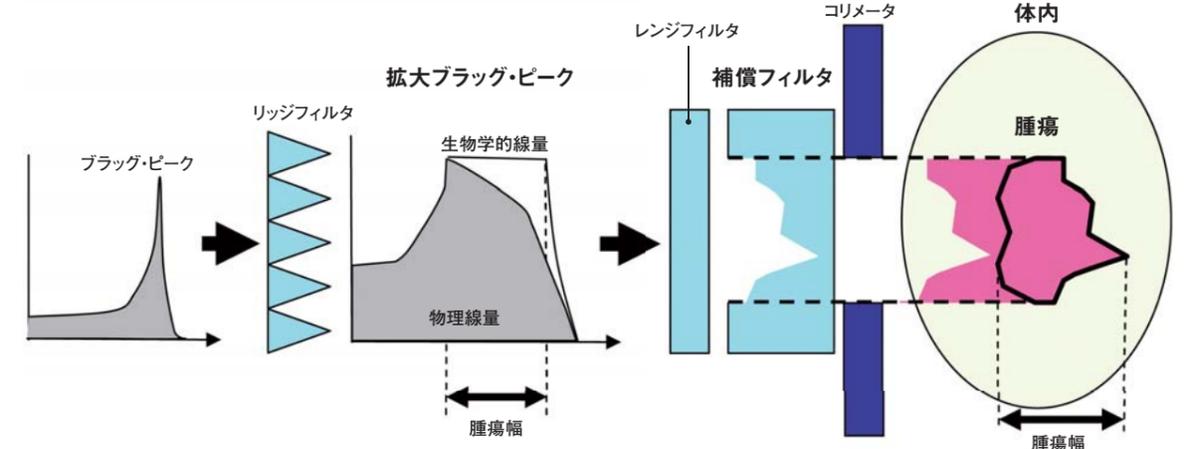
#### 頭頸部腫瘍 総論

頭頸部とは脳より下で、鎖骨より上の領域のことを意味します。従来の耳鼻咽喉科、口腔外科、内分泌甲状腺領域ということになります。ここに生じるがんを総称し

て頭頸部がんと呼びます。頭頸部のあらゆる場所ががんは発生し、がんの発生場所によって喉頭がん、下咽頭がん、舌がんなどと区別されますが、部位によって頻度に差があり、頻度の高いものとしては舌がん、喉頭がん、下咽頭がん、甲状腺がんなどがあり、中咽頭がん、上咽頭がん、上顎がんなどがこれにつき、耳下腺がん、顎下腺がんなどは比較的頻度の少ないがんといえます。

組織学的にみると、扁平上皮癌と呼ばれるタイプが最も多く、鼻腔、口腔、咽頭、喉頭などの頭頸部の管腔では90%がこのタイプです。次に多いのが腺がんと呼ばれるタイプのがんで、この両者で、頭頸部がんのほとんどを占めます。

頭頸部がんの最大の問題は、摂食、会話などに直接関与する部位であり、衣服に覆われず、常に人目にさらされる場所に生じるがんであるという点にあります。頭頸部がんの治療では、これらの形態機能に多かれ少なかれ障害をもたらすことは避けられませんが、腫瘍が進行していればいるほど、発声機能喪失や、咀嚼嚥下機能低下、



顔面の変形など、治療後の生活の質(QOL)の障害は大きくなり、社会生活に大きな障害を負うことになります。逆に早期のものであれば、ほとんど障害が少なく、早期発見早期治療が非常に重要となります。

我々の施設では、主に従来放射線抵抗性とされた非扁平上皮がんで、なおかつ従来の治療法が不可能である症例に対して治療を行っています。

#### 重粒子線治療 総論

重粒子線の中で当施設では、その線量分布の良さから炭素イオン線を使用しています。体内に入射した重粒子線は、ある深さまではあまりエネルギーを与えずに速い速度でかけぬけ、途中で急に速度を落として多くのエネルギーを与えて線量のピークを作り、その後は急激に停止します。このピークをブランクピークと呼び、その深さや大きさ、あるいは重粒子線を止める位置は、楔状のフィルター(リッジフィルタ)などを使って、自由に調節することが可能です。よって、このピークを標的となるがんの部分に調整すれば、がんのまわりの正常組織にはほとんど重粒子線を照射せずに、ねらった標的(腫瘍)だけに高線量を集中して照射することが可能となります。これを利用し、1回の線量を上げ、短期間での治療を行っています。

#### 各論

##### 頭頸部腫瘍に対する炭素イオン線治療の第II相臨床試験研究: 治療成績と副作用

1994年から開始された線量増加試験の結果をうけ、1997年4月より頭頸部がんに対して、第II相臨床試験が行われています。適格条件として、

- ① 組織学的に証明されている
  - ② 測定可能病変が存在
  - ③ 転移を認めない
  - ④ 合併する悪性腫瘍がない
  - ⑤ 15～79歳
- などがあります。

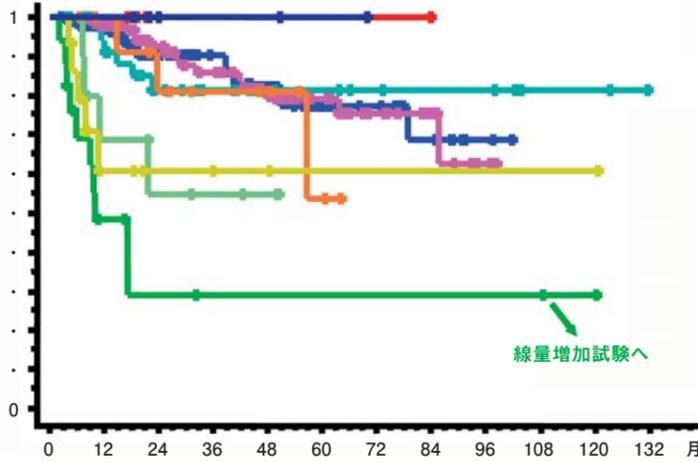
2008年8月までに326人に対し施行しました。内訳は腺様嚢胞癌107人、悪性黒色腫101人、腺癌38人、肉腫14人、その他となっています。炭素線の総線量は57.6GyEあるいは64GyEと設定しました。急性期の皮膚反応ではGrade 3が約5%に、粘膜反応ではGrade 3が約9%に見られています。しかし、これらの急性期の反応は治療終了後速やかに改善しています。重篤な晩期反応は認めておりません。治療成績は、5年局所制御率で腺様嚢胞癌:79%、悪性黒色腫:77%、腺癌:81%、肉腫:29%、5年生存率で腺様嚢胞癌:69%、悪性黒色腫:37%、腺癌:60%、肉腫:30%となっています。

肉腫に関しては他の腫瘍に対して、局所制御ができていないため、新たに肉腫のみを対象とした臨床試験を2001年より開始しました。また、悪性黒色腫に関しては局所制御が良好であるのに対して、遠隔転移により生存率の大幅な改善が見られませんでした。このため、あらたに抗癌剤を併用した臨床試験を2001年より開始しました。

##### 頭頸部骨軟部肉腫に対する炭素イオン線治療の第I/II相臨床試験研究: 治療成績と副作用

上記第II相臨床試験の結果を受け、2001年4月より頭頸部領域の骨軟部腫瘍に対して線量増加試験を行い、2008年8月までに27人の患者さんが登録されました。

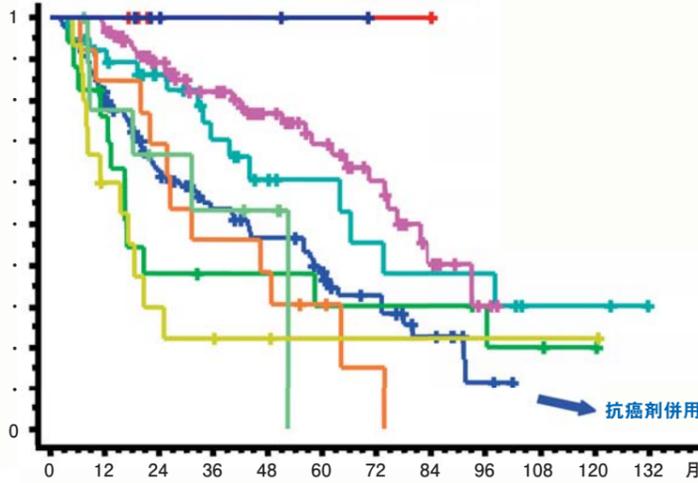
局所制御率



97年4月～08年2月

腺癌 (37)	5年:81% (±07)
腺様嚢胞癌 (98)	5年:79% (±05)
悪性黒色腫 (100)	5年:77% (±06)
未分化癌 (5)	5年:100%
腺房細胞癌 (5)	5年:100%
乳頭状腺癌 (13)	5年:54% (±24)
粘表皮癌 (10)	3年:55% (±17)
扁平上皮癌 (16)	5年:63% (±14)
骨軟部腫瘍 (17)	5年:29% (±13)

粗生存率



97年4月～08年2月

腺癌 (37)	5年:60% (±10)
腺様嚢胞癌 (98)	5年:69% (±06)
悪性黒色腫 (100)	5年:37% (±06)
未分化癌 (5)	5年:100%
腺房細胞癌 (5)	5年:100%
乳頭状腺癌 (13)	5年:31% (±13)
粘表皮癌 (10)	3年:53% (±17)
扁平上皮癌 (16)	5年:23% (±11)
骨軟部腫瘍 (17)	5年:30% (±12)

内訳は骨肉腫9人、MFH5人、その他となっています。炭素線の総線量は、第一段階が70.4GyEと設定し、少なくとも5人の患者さんにその線量で治療を行い、安全性と効果を確認して3.2GyEずつ線量増加を行う予定としました。適格条件として、

- ① 組織学的に証明されている
- ② 測定可能病変が存在
- ③ 転移を認めない
- ④ 合併する悪性腫瘍がない
- ⑤ 15～79歳

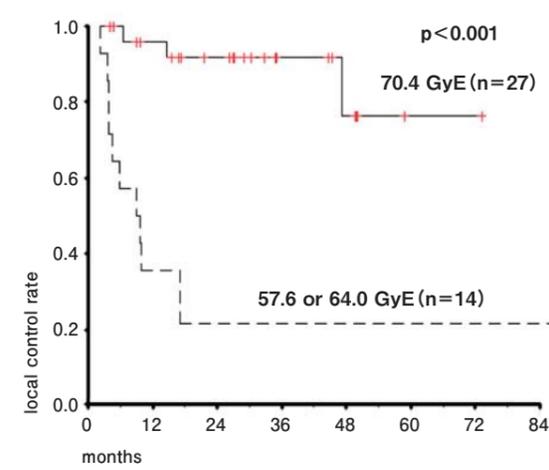
などとししました。第一段階の照射線量(70.4GyE)を3年以上継続しましたが、局所制御率がほぼ100%であったことから、線量増加試験は終了となりました。急性期反応はGrade3以上が粘膜炎1例のみでありました。これまでのところ、局所制御率と生存率は、それぞれ5年で76.4%と52.9%となっています。この結果は以前の当院での頭頸部骨軟部肉腫の患者さんに対する

57.6GyEあるいは64.0GyEによる治療成績と比べて、局所制御率においては明らかな改善、生存率においては改善傾向にあります。

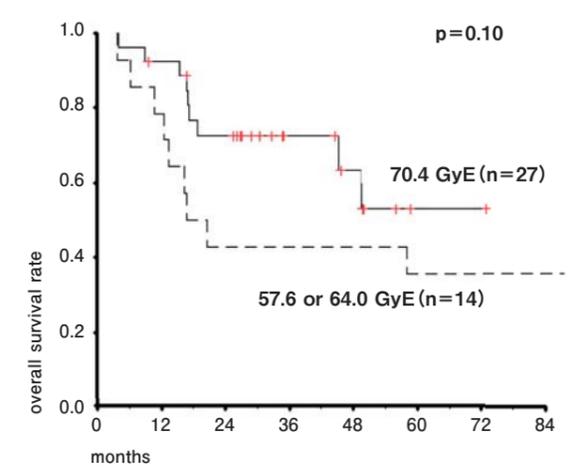
頭頸部粘膜悪性黒色腫に対する抗癌剤併用炭素イオン線治療の第II相臨床試験研究:治療成績と副作用

やはり前述の第II相臨床試験の結果を受け、2001年4月より粘膜悪性黒色腫に対して、その遠隔転移発生を予防する目的で、抗癌剤(ダカルバジン、ニドラン、オンコピン)を併用した重粒子線治療を開始しました。抗癌剤は重粒子線治療と同時に開始し、重粒子線治療が終了後も4週間毎に目標5回行う方針としました。炭素イオン線の処方線量は57.6GyEとしました。これまでに82人の患者さんの治療を行い、局所制御率は5年:81.7%、粗生存率は5年:62.4%という、極めて良好な治療成績を示しています。これは炭素イオン線単独で治療した場合と比べると、局所制御率はほとんど変わらない

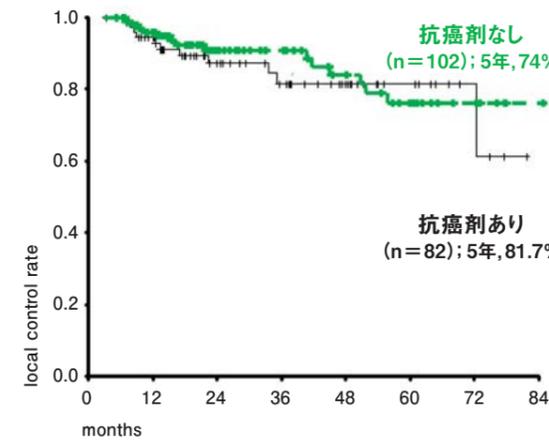
局所制御率



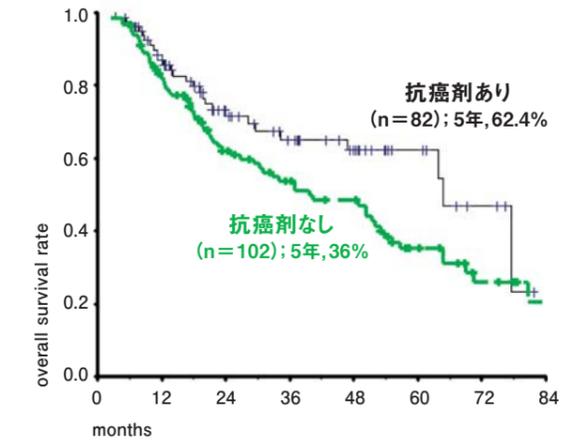
粗生存率



局所制御率



粗生存率



いのですが、生存率を5年で約25%の上乗せができたという結果でした。

これまでの世界中から報告された粘膜悪性黒色腫に対する治療成績と比べても、大幅に改善されており、最もよい治療成績のひとつとも言えると思われます。しかし、治療開始時点での腫瘍体積が60mlを超える場合には有意に治療成績が悪い結果となっています。このことから、現在は腫瘍サイズが大きい患者さんでは炭素イオン線の処方線量を64.0GyEに上げて治療を行っております。

まとめ

近年、当施設での様々な領域の疾患における良好な治療成績から、日本国内のみならず世界中で重粒子線治療設備をもった病院の建設・開業がはじまっています。放射線医学総合研究所では様々な施設と提携や国際シンポジウムなどを通じ、人材の育成や技術支援を行っています。また今後も臨床試験や先進医療の推進していき、難

治性腫瘍に対し、より効果の高い治療、より副作用の少ない治療を提供できるようにしたいと考えております。

参考: NCI Common Terminology Criteria for Adverse Events (CTCAE) V3.0

放射線に伴う皮膚炎

Grade1	淡い紅斑または乾性落屑
Grade2	中等度～鮮明な紅斑;大部分が間擦部に限局した斑状の湿性落屑;中等度の浮腫
Grade3	間擦部以外の湿性落屑;軽度の外傷や擦過傷により出血
Grade4	真皮全層の皮膚壊死または潰瘍;病変からの自然出血
Grade5	死亡

粘膜炎

Grade1	粘膜の紅斑
Grade2	斑状の潰瘍または偽膜
Grade3	融合した潰瘍または偽膜;軽度の外傷により出血
Grade4	組織の壊死;顕著な自然出血
Grade5	死亡

# 論文引用動向からみる 近赤外脳機能イメージング研究のエポック

## Epoch making NIRS studies seen through citation trends



檀 一平太 (Ippei Dan)

(独)農研機構 食品総合研究所  
食認知科学ユニット 主任研究員  
檀 一平太

### はじめに

近赤外分光分析法 (near-infrared spectroscopy, NIRS) は近赤外光によって物質の濃度を測る計測法である。近赤外外部での糖の吸収を利用した果物の糖度計測や、ガン組織の吸光度の違いを利用したマンモグラフィ (乳房断層撮像) による乳ガン検出など、様々な応用が進みつつあるが、中でも近年、急速に盛んになりつつあるのが、脳機能計測への応用である。

NIRS を用いた脳機能計測法には、現在統一した名称が存在しない。「NIRS」のほか、機能 (function) の頭文字をつけた「fNIRS」、また光を用いて脳機能を可視化するという意味合いから「光トポグラフィ (光トポ)」、「光脳機能イメージング法」、「拡散光イメージング法 (Diffused optical imaging; DOI)」など複数の呼称があるが、どれも概ね同じ方法を指す。どの名称を選択するかは非常に微妙な問題であり、その選択自体が、研究者の思想を反映することもある。たとえば、NIRS の文字の中には「画像化 = imaging」の概念が全く含ま

れておらず、使用に違和感を感じる研究者も多い。しかし、本稿では、単なる偶然ではあるものの、放医研に敬意を表し、その略称である「NIRS」という名称を用いることにする。

NIRS はここ 15 年ほど、我が国を中心として急速に開発が進んだ。ヒトのダイナミックな脳活動を、生体に影響を及ぼすことなく、非侵襲的に計測し、可視化することが可能である。NIRS の最大の特徴は、被験者への低い拘束性である。非侵襲な脳機能イメージング法の代表的存在である、fMRI (機能的核磁気共鳴撮像法) では、磁気シールドルームに設置された大規模な装置の狭いスキャナーの中で、被験者は仰向けのまま頭部を固定された状態で脳機能を計測される。したがって、測定対象がかなり制限される。一方、NIRS の装置は、図 1 に示すように、極めてコンパクトであり、日常に近い環境での脳機能計測が可能である。また、fMRI の導入費用は数億円であるが、NIRS は数十万円～数千万円程度と安い。こういった事情もあって、NIRS は



図1: NIRSの計測風景  
ごく普通の環境で、無侵襲かつ低拘束な状態で脳機能計測をおこなうことが可能である。

表1: NIRS脳機能計測関連論文被引用件数ランキング

順位	被引用回数	タイトル	著者	書誌
1	1238	Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters.	Jöbsis FF	Science. 1977;198(4323):1264-7
2	296	Near infrared spectroscopy (NIRS): a new tool to study hemodynamic changes during activation of brain function in human adults.	Villringer A, Planck J, Hock C, Schliekner L, Dirnagl U.	Neurosci Lett. 1993;154(1-2):101-4
3	243	Spatial and temporal analysis of human motor activity using noninvasive NIR topography.	Maki A, Yamashita Y, Ito Y, Watanabe E, Mayanagi Y, Koizumi H.	Med Phys. 1995;22(12):1997-2005
4	212	Theoretical and experimental investigation of near-infrared light propagation in a model of the adult head.	Okada E, Firbank M, Schweiger M, Arridge SR, Cope M, Delpy DT.	Appl Opt. 1997;36(1):21-31
5	191	Detection of dynamic changes in cerebral oxygenation coupled to neuronal function during mental work in man.	Hoshi Y, Tamura M.	Neurosci Lett. 1993;150(1):5-8
6	180	Human visual cortical function during photic stimulation monitoring by means of near-infrared spectroscopy.	Kato T, Kamei A, Takashima S, Ozaki T.	J Cereb Blood Flow Metab. 1993;13(3):516-20
7	167	Simultaneous recording of cerebral blood oxygenation changes during human brain activation by magnetic resonance imaging and near-infrared spectroscopy.	Kleinschmidt A, Obrig H, Requardt M, Merboldt KD, Dirnagl U, Villringer A, Frahm J.	J Cereb Blood Flow Metab. 1996;16(5):817-26
8	166	Dynamic multichannel near-infrared optical imaging of human brain activity.	Hoshi Y, Tamura M.	J Appl Physiol. 1993;75(4):1842-6
9	141	Cognition-activated low-frequency modulation of light absorption in human brain.	Chance B, Zhuang Z, UnAh C, Alter C, Lipton L.	Proc Natl Acad Sci U S A. 1993;90(8):3770-4
9	141	The accuracy of near infrared spectroscopy and imaging during focal changes in cerebral hemodynamics.	Boas DA, Gaudette T, Strangman G, Cheng X, Marota JJ, Mandeville JB.	Neuroimage. 2001;13(1):76-90
11	133	Three-dimensional probabilistic anatomical cranio-cerebral correlation via the international 10-20 system oriented for transcranial functional brain mapping.	Okamoto M, Dan H, Sakamoto K, Takeo K, Shimizu K, Kohno S, Oda I, Isobe S, Suzuki T, Kohyama K, Dan I.	Neuroimage. 2004; 21(1):99-111
12	131	A quantitative comparison of simultaneous BOLD fMRI and NIRS recordings during functional brain activation.	Strangman G, Culver JP, Thompson JH, Boas DA.	Neuroimage. 2002;17(2):719-31
13	126	Correlates of alpha rhythm in functional magnetic resonance imaging and near infrared spectroscopy.	Moosmann M, Ritter P, Krastel I, Brink A, Thees S, Blankenburg F, Taskin B, Obrig H, Villringer A.	Neuroimage. 2003;20(1):145-58
14	117	Spontaneous low frequency oscillations of cerebral hemodynamics and metabolism in human adults.	Obrig H, Neufang M, Wenzel R, Kohl M, Steinbrink J, Einhüpl K, Villringer A.	Neuroimage. 2000;12(6):623-39
15	114	Three dimensional Monte Carlo code for photon migration through complex heterogeneous media including the adult human head.	Boas D, Culver J, Stott J, Dunn A.	Opt Express. 2002;10(3):159-70
15	114	Cortical mapping of gait in humans: a near-infrared spectroscopic topography study.	Miyai I, Tanabe HC, Sase I, Eda H, Oda I, Konishi I, Tsunazawa Y, Suzuki T, Yanagida T, Kubota K.	Neuroimage. 2001;14(5):1186-92
17	113	Sounds and silence: an optical topography study of language recognition at birth.	Peña M, Maki A, Kovacic D, Dehaene-Lambertz G, Koizumi H, Bouquet F, Mehler J.	Proc Natl Acad Sci U S A. 2003;100(20):11702-5
18	106	Non-invasive assessment of language dominance with near-infrared spectroscopic mapping.	Watanabe E, Maki A, Kawaguchi F, Takashiro K, Yamashita Y, Koizumi H, Mayanagi Y.	Neurosci Lett. 1998;256(1):49-52
19	104	Interpretation of near-infrared spectroscopy signals: a study with a newly developed perfused rat brain model.	Hoshi Y, Kobayashi N, Tamura M.	J Appl Physiol. 2001;90(5):1657-62

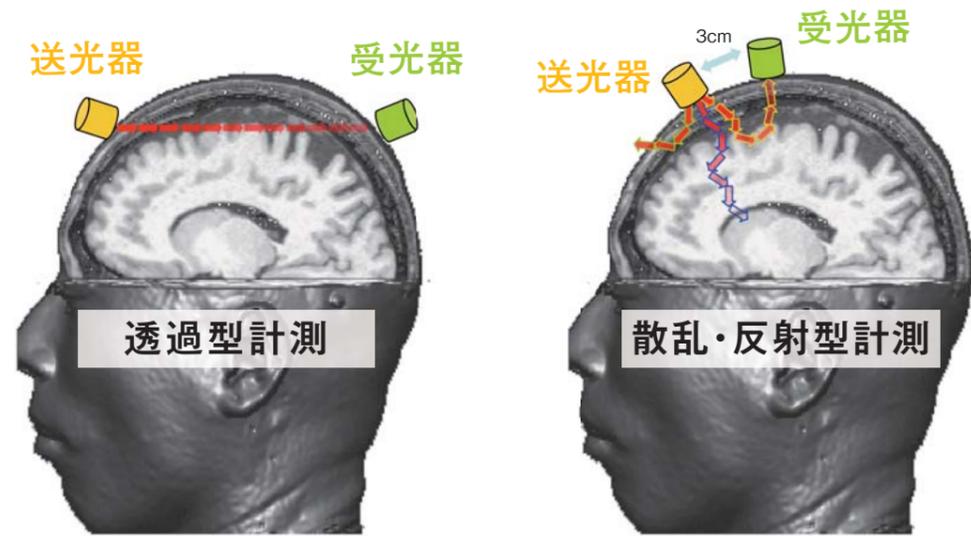


図2: 透過型計測と散乱・反射型計測の模式図  
左図のように、Jobsisの発明以来、研究者は、近赤外光は生体組織内を直線的に進むと考えていた。ところが実際には、右図のように、近赤外光は生体組織内をさまざまな方向に散乱しながら進んでいく。中には、受光器とはちがう方向に散乱する光(緑枠)、脳の内部で減衰してしまう光(青枠)などもあるが、生体組織内を散乱しながら、受光器にたどりつく光(黄枠)もある。この光が運ぶ脳からの信号をNIRSは検出する。  
(権一平太、Bionics 2006年5月号、p55を改変)

fMRIの代替技術という位置づけが一般的であるが、実際には、NIRSの方が歴史は古い。fMRIの基礎原理確立は1990年、わが国の小川誠二(当時米国ベル研究所)による<sup>1,2)</sup>、NIRSの開発は1977年に米国デューク大学のJobsisによる報告に遡る<sup>3)</sup>。

おおむね30年の歳月を経て、NIRSはようやく一般的な脳機能計測技術として定着しつつあるわけだが、その歴史を振り返るに当たっては、現役研究者の様々な思惑が絡み、客観的な記述は困難である。そこで本稿では、少し目線を変えて、論文の被引用件数からNIRSの歴史を彩ったエポック的研究を振り返ってみることにしたい。

おそらく、このような方法は強引であるという指摘もあるだろう。被引用件数には関わらず、重要な研究は存在するかもしれない。しかし、どのような研究が重要かという点については各研究者の趣味や思想が色濃く反映される。身近な例で言えば、サザンオールスターズの名曲と言えば、「勝手にシンドバッド」か、「愛しのエリー」か、あるいは、デビュー30周年記念人気投票で一位となった「真夏の果実」なのか、人によって評価は激変するであろうが、最も売れた曲が294万枚のCD売上げを記録した「TSUNAMI」であることは厳然たる事実である。同様に、被引用数の多い研究論文が、人気の高い研究であることは間違いないだろう。

本稿における引用件数の調査においては、“near-

infrared spectroscopy”、“brain”を第一の検索キーワードとして、Web of Science、Google Scholarにおいて調査を開始し“optical topography”なども加えて、重要な著者を洗い出した。これらの著者論文について、被引用件数が100を超える論文を選び、Web of Scienceにおける被引用件数によってランク付けした(表1)。

ここで問題となるのは、脳機能計測法としてNIRSが確立した1993年以前の研究である。脳機能計測に重要な情報を与えつつも、より一般的な計測を考慮した高頻度被引用論文が相当数存在するが、これらは割愛し、NIRSによる脳機能計測を対象とするか、NIRS脳機能計測のための方法論を記載した論文のみを選択した。また、レビュー論文は除いた。検索漏れの可能性もあり得るが、その場合は筆者のベストエフォートとして、ご寛容をお願いしたい。

### NIRSによる「脳血流変化」の計測技術確立

当然の結果ではあるが、NIRS論文において、圧倒的な引用を誇るのが、Jobsisが1977年に発表したNIRSによる「脳血流変化」の計測技術確立に関する論文である<sup>3)</sup>。この論文では、左右のこめかみの上に送光器と受光器を設置し、過呼吸に伴う脳血流の減少を計測している。照射した近赤外光の波長は815nmで、これは酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンのほぼ等吸収点に相当するため、全ヘモグロビンが測定対象となってい

る。送光器と受光器の距離は13.3cmと長いので、10秒毎の検出光子数の積算によって脳組織による光吸収の変化を捉えた。この結果、過呼吸の継続に伴って、検出光子数の増加、すなわち脳血流量の減少が観察された。

ただし、この論文は、NIRSによる脳血流変化計測の最初の論文ではあるが、脳機能の計測とは言い難い。論文の文章中に「functional test」という表現があるため、今日主に使われる「脳機能=精神活動による脳の賦活」を計測しているように混同されがちであるが、過呼吸による脳血流量のグローバルな低下が計測の対象である。したがって、「NIRSによる脳血流動態変化(hemodynamic response)の計測」が本論文の正確な理解である。

とは言っても、この論文の価値が減じられるわけではない。ネコの脳を用いた脳血流変化計測の実証実験によって方法論の妥当性を検証した上で、極限の技術的チャレンジとして、ヒトの脳計測を報告している。しかも、N=1である。チャンピオンデータ発勝負といった迫力が感じられる内容である。

### NIRSによる「脳機能」の計測技術確立

ところが、Jobsisの論文には長らく追試の報告がなされなかった。その理由はプローブの設置法にあったと思われる。Jobsisが脳を透過するように頭部の反体側に送光器と受光器を設置した。光は頭の中を直進すると思っていた。ところが、1993年に、受光器と送光器を4cm以下の近接位置に設置して、脳組織で散乱・反射してきた光を検出する新たな手法が開発された。この結果、検出可能なシグナル強度が格段に上昇し、精神課題遂行中の脳活動が、脳血流量の変化として捉えられるようになった(図2)。

1993年のNIRSによる脳機能計測の報告は、4グループからほぼ同時期になされている<sup>4,7)</sup>。偶然とは思いたいシンクロシティという説もある。たしかに、科学研究において論文審査に何らかの調整が加わるということはなきにしもあらずである。実際、かつて、筆者が分子生物学分野で遺伝子クローニング競争をしていた頃は、ライバルに論文を蹴られ、涙を飲んだ経験もある。しかし、1993年のシンクロシティについては、邪推であるように思える。というのは、1992年、光を脳に直接照射して、散乱・反射してきた光をCCDカメラでとらえ、脳活動由来のシグナルを検出するという論文が発表されたのである<sup>8)</sup>。この論文の被引用件数は187件であり、しかも、Nature誌に発表されている。したがっ

て、多くNIRS研究者は「光は散乱して、脳から跳ね返ってくる」ということに気づいたと思われる。

翌年、散乱・反射光を利用したNIRSの研究がいっせいに花開いたわけであるが、ランキングを見ても分かるように、これらの論文の「人気」には差が広がりつつある。現時点では、Villringerらの論文が断突で被引用を集める結果となっている<sup>4)</sup>。4論文の中では、Katoらは投稿日が最も早く<sup>6)</sup>、Hoshi & Tamuraは発行日が最も早い<sup>5)</sup>。しかし、出版日としては、発表が最も遅いVillringerらの論文が断突で被引用を集めている。これらの論文の内容は、後述するChanceらの論文以外、一見、大きな差はない<sup>7)</sup>。Katoらは視覚刺激、Hoshi & Tamuraは計算課題、Villringerらは両者に関する脳活動を報告している。計測方法も、連続光の照査による継続的モニタリングであり、特に差があるわけでもない。しかし、Villringerらは皮膚血流量の変化も記録しており、検出された光学的シグナルの変動が脳機能に由来するものであることを検証しているという点で、生理学的な実験としては、一枚上手である。

さらに、付け加えるとすれば、Villringerらは文章力で他の論文を凌駕している。あまりややこしいことを言わずに、明晰に論理が追える構造となっている。本稿の執筆に当たって、これらの論文を電車の中という悪条件で読み直したが、筆者個人の限定的な感想ではあるものの、Villringerらの論文が最も読みやすかった。多量の情報を短時間で処理しなければならない現代の科学者にとって、論文の読みやすさは、研究効率を上げる上で、重要な要素である。4つのうち、どれか1つを引用せねばならないとすれば、読みやすい論文を引きたくなるのも当然であろう。筆者も論文のレフェリーとして、Villringerら論文のみを引いている例に当たったことがあり、適切な引用を指示した覚えがある。この差を前にして、科学者たる者、読み手を意識するサービス精神も必要であるとしみじみと認識した次第である。

しかし、一方で、突出した独創性を発揮するということは何事にも替えがたいセールスポイントとなりうる。4論文の中では、Chanceらの論文は最も「異質」である<sup>7)</sup>。被引用数も少ない。しかし、マニア心をそそる内容なのである。その他の論文は時系列データの解析をしているが、Chanceらは、周波数領域の解析を行っており、課題遂行時と休息期間中では、低周波の成分に違いが見られることを明らかにしている。課題遂行によってヘモグロビン濃度が上がったというような時間的変化は分かりやすいが、低周波の成分が変化するという現象は直観的



図3: 時間差照射による多チャンネルNIRS計測の原理  
まず、送光器Aが点灯すると、受光器zとxが光を受け、その間のチャンネル1と4の脳活動が計測できる。次に、送光器Bが点灯すると、受光器z、y、wが光を受け、その間のチャンネル2、3、6の脳活動が計測できる。さらに、送光器Cが点灯すると、受光器z、x、w、vが光を受け、その間のチャンネル5、8、9、12の脳活動が計測できる。このように、送光器の点灯に時間差を設けて、光の干渉を防ぐ。

に理解しがたい。また、なぜそのようなことが起こるかというメカニズムについても、説明は難しい。実際、7年前に筆者がこの論文に始めて触れた際も、どうしても難解で取っつきにくいという印象があった。しかし、現在、改めて眺めてみて、非常にオリジナリティの高い重要論文であるという認識を得るに至った。

まず、周波数解析は複合的な事象の解析には向いている。認知課題と一口に言っても実際には様々な課題の集合である場合がほとんどである。たとえば、暗算は、数値データの言語処理、刺激への集中、ワーキングメモリへの数値データの保持など、様々な認知的要素の積み重ねである。これらを時間ドメインで分離することは困難であるが、周波数ドメインを活用すれば、分離できる可能性はある。また、多チャンネル計測が一般的になった今日、脳の領域間の機能ネットワークを解析するとすれば、時間ドメインのみならず、周波数ドメインの解析は有用な手段になりうる。このような独自の視点を早期に提供したChanceらの慧眼は、時を経て色あせない。

Chanceらとは視点を換え、低周波の振動をより生理学的に捉えるというアプローチの基礎を築いたのが、第14位にランクされているObrigらの論文である<sup>9)</sup>。これは、低周波成分の中でも、10秒程度の周期の自律性振動に着目したものである。未だにその原因は不明であるが、NIRS計測を行うと、安静時であっても10秒程度の緩やかなシグナルの波が観測されることが多い。Obrigらは、この信号が安定的にNIRSで計測可能であることを示した。日本では、脳血流の上昇、下降といった変化に注目した研究が多いが、自律性振動の計測は、NIRSの時間分解能を活用した重要なアプローチである。近年、ドイツのSchroeterらによって、老化

や脳血管障害による自律性振動の減衰が報告されるなど、臨床応用への可能性が高まっている<sup>10-11)</sup>。現状では、NIRSの計測は脳賦活によるものがほとんどであるが、低周波の自律性振動に関する研究は増加するものと予想している。

### 多チャンネル計測の実現

NIRSの発明、散乱・反射型計測への改良に続いて被引用を集めているのは、多チャンネル計測の実現で、Makiらの論文が第3位にランクされている<sup>12)</sup>。今でこそ多チャンネル計測が当然となっているが、NIRSの開発初期段階では、計測は単チャンネルであった。脳の広い領域を計測するためには、チャンネル数を増やす必要がある。まず、第8位にランクされているHoshi & Tamuraは、単チャンネルの報告後、すぐに複数チャンネルの計測を報告し、多チャンネル化に先鞭をつけたとも言える<sup>13)</sup>。ところが、送光-受光プローブの組み合わせを増やせば、単純にチャンネルを増やせるわけではない。隣同士のチャンネルで光が干渉し合うというやっかいな問題をまず解決する必要があった。

そこで、Makiらは、半導体レーザー光に変調(0.6-1kHz)を掛け、ロックインアンプで特定の変調光のみを検出するという方法を開発した。送光器ごとに変調を微妙に変えることによって、光の干渉をキャンセルするわけである。この方法によって、原理的には、可能な限りチャンネルを増やす技術が確立したわけである。なお、多チャンネル化にはいくつかの方法があり、時間差点灯による多チャンネル計測も普及している(図3)。

この変調法を応用し、送受光プローブを格子状のアレイに配置した、多チャンネル計測装置、通称「光トボグ

ラフィ」が誕生した。トボグラフィとは、「領域の描画」という意味であり、文字通り、脳の「点」から「領域」の計測が可能となった。これによって、脳機能をマッピングするツールとしての、光トボグラフィの可能性が大きく開花した。

あまり認識されていないが、Makiらの論文は、多チャンネル化だけでなく、データの連続化というもう一つの重要な展開をもたらしている。多チャンネルNIRSの計測では、送光・受光プローブの間に定義されるチャンネルは、通常、2cm程度離れている。これらが、ぼつりぼつりと脳の上に点在しているわけであるが、Makiらはこれらを空間的に補間して、連続的な脳機能画像を構成した。これをアニメーションで提示すると、非常にインパクトの強い画像が得られる。そのため、学会でのデモンストレーションやテレビ放映などのメディア露出の際に頻繁に用いられる。たしかに、空間補間データは、直観的には分かりやすい表現ではある。しかし、計測していない領域に補間データを作り上げるという性質上、アーティファクトの危険を常にはらんでいる。通常、1mm四方のピクセルデータが補間により構築されるが、送光-受光プローブ間の距離が3cmの場合、各チャンネル間の距離は約3cmとなり、この間を1mmという高密度で補間することになる。

この補間が成り立つための条件は主として二つである。第一は、チャンネルが計測領域を適切に代表していること、第二は計測領域内で脳活動が連続的であることである。第一の条件が満たされない場合、偽焦点化の問題が生じる。送光-受光プローブの中心をチャンネルとした代表させた場合、その周囲に存在する賦活領域は、全てその一点に集約されてしまう。もし光路となる領域が遍く賦活していれば問題ないが、受光器側に強く狭い賦活領域があり、送光器側には賦活はないといった場合でも、その逆の場合でも、区別はつかず、送光-受光プローブの中心に賦活が存在するような現象が起こる。

第二の条件が満たされない場合、偽補間の問題が生じる。これは、二つのチャンネルで計測された賦活が空間的に連続していない場合でも、その間の領域にあたかも賦活があるかのように補間をしてしまうという問題である。このような問題が生じない場合が一つある。それは、賦活がチャンネルの間隔に対して十分に広い領域にわたっている場合である。このような場合は、光路上の全ての領域に賦活が起こり、二つのチャンネル間でもやはり賦活は起こっており、補間に際し

て問題は生じない。しかし、そこまで領域特異性がない脳活動ばかりを対象にするという計測にそもそも多チャンネル計測は必要あるかどうか、という新たな問題が生じてしまうかもしれない。

こういった事情を考慮すると、空間補間データは慎重に扱うべきである。少なくとも、空間補間データを見て脳活動を吟味するという態度は捨て去った方が無難であろう。

### NIRSの光伝播様式

散乱・反射光の計測が一般的になると、光が脳のどこを通っているかが問題となる。この問題の解決には、実測よりもシミュレーションの果たす役割が大きい。この課題において、画期的な解決をもたらしたのが、Okadaらによる光伝播シミュレーションの研究である。その先駆的試みが第4位にランクされている<sup>14)</sup>。彼らは、生体頭部組織の構造を模した構造体に近赤外光を照射し、時間分解計測を用いて平均光路長を計測すると共に、コンピュータシミュレーションによって、一つ一つの光子の伝播の様式を解析した。その結果、3cmのプローブ間隔の場合、送光器から発せられる光は、生体内を多方向に散乱していくが、受光器で検出される光の光路を追うと、大脳皮質の組織を散乱しながら「バナナ状」に伝播することが明らかになった。つまり、NIRSによる脳機能計測は、脳から信号を拾っているということ、シミュレーションで示したわけである。その後もOkadaらのグループは精力的に研究を進展させ、より詳細なモデルを使ったシミュレーション実験を展開している。

NIRSデータの解析におけるシミュレーションの果たす役割は大きく、第15位のBoasらによる論文は、生体組織内での光伝播シミュレーションに有用なコードを紹介したものである<sup>15)</sup>。

### 他のイメージングモダリティとの同時計測

NIRSはfMRIよりも歴史が古いとはいえ、脳機能計測への応用はfMRIの後塵を拝している。どちらも局所的な脳血流の変化を計測するという点では共通であり、このため、計測結果の比較は関心を集めやすいトピックとなっている。中でも、同時計測は技術的にもチャレンジングな課題であり、その最初の試みが第7位にランクされている<sup>16)</sup>。

ここで、やや長くなってしまいが、NIRSが計測するシグナルの生理学的意味に触れておこう。局所的に神経

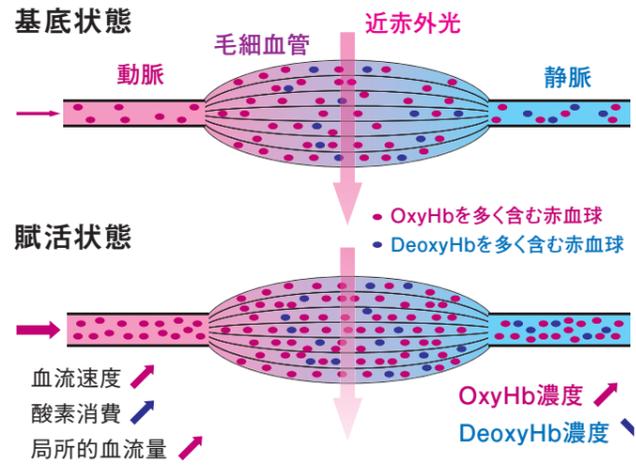


図4: 局所的な脳神経活動にともなう脳血流の変化  
局所的な脳神経活動が高まる(賦活)と、当初は酸素消費量は増えてDeoxyHb濃度が若干高くなるが、血流速度、血管拡張による局所的な血流量の上昇によって、全体的には、OxyHb濃度が高くなり、DeoxyHb濃度が減る。図中央の矢印は、OxyHb濃度上昇によって近赤外光の透過性が低下する様子を示している。  
(権一平太 ぶんせき 2007年6月号 p6を改変)

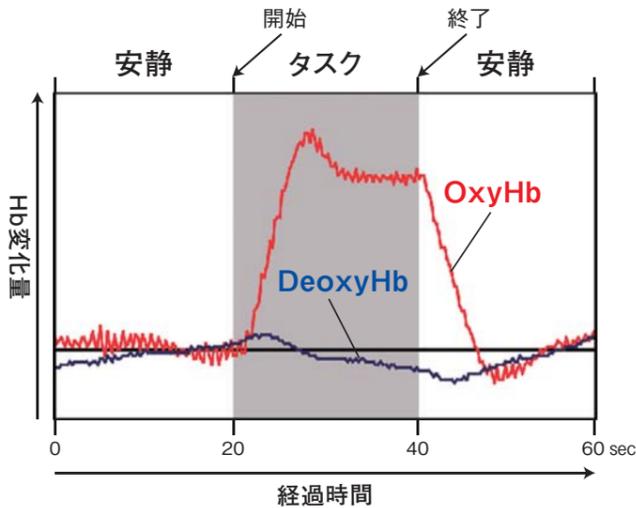


図5: 典型的NIRSデータ  
リンゴの皮むき課題における典型的な脳血流変化パターンを示してある。データは1被験者の10試行分の加算平均データ。左前頭極領域のチャンネルにおけるデータを指名している。OxyHb信号の上昇とDoxyHb信号の低下が確認できるが、OxyHbの方がシグナルは大きい。

活動が盛んな領域では、血流量が増加する。脳神経活動に伴う脳血流変化の、細胞、分子レベルのメカニズムについては、今世紀になって、研究が大幅に進んできた。詳細についてはまだ不明な点が多いものの、いまのところ、神経活動の興奮を、グリア細胞の一種であるアストロサイト(星状細胞)が感知し、毛細血管を拡張するという説が有力である。アストロサイトは、その名のごとく星のような形に突起を伸ばしており、一方の突起を神経同士のつなぎ目である多数のシナプスに接しつつ、他方の突起は血管の周りを取り巻いている。神経が興奮すると、アストロサイトのCa<sup>2+</sup>濃度変化が引き金となっ

て、アラキドン酸の代謝産物が放出され、血管が拡張されるというのが大筋である<sup>17)</sup>。

神経活動に伴う血流動態変化を時間軸的に追っていくと、まず、局所的な神経活動の増加(数ミリ〜数百ミリ秒)に起因して、局所的な酸素消費量が増える。これは数百ミリ〜1秒程度の比較的速い反応である。これは、酸素化ヘモグロビン(OxyHb)濃度の減少、脱酸素化ヘモグロビン(DeoxyHb)濃度の増加に寄与する。このままでは酸素供給量が減ってしまうが、続いて血管の拡張が起こり、血流速度が増加する。この結果、局所的な血流量は増加し、新鮮な動脈血が流れるこ

ととなり、全体的にはOxyHb濃度が大幅に上がり、DeoxyHb濃度は減る。これは、数秒単位の反応である(図4、図5)。この血流動態変化を計測するのが、fMRIとfNIRSである。

比較のため、まずfMRIの原理から説明する。MRIでは、1.5T(地球の磁場の3万倍)以上という、強い静磁場を脳にかける。脳の組織は、水素原子をさまざまな状態で含んでいる。水素原子の原子核は、「コマ」のように回転している。通常の状態では、水素原子のコマの回転軸の方向はばらばらである。ところが、生体組織に静磁場をかけると、回転軸の方向がそろうようになる。さらに、x、y、z軸方向に傾斜磁場をかけると、水素原子の回転周波数に空間的な勾配ができる。このとき、水素原子の回転周波数と共鳴するような周波数のラジオ波を照射すると、コマは横に傾きだす。ここで、照射を急に止める。すると、核磁気共鳴(MR)信号を発しながら、コマはまた元の向きに戻っていく。この戻り時間を緩和時間という。組織中の水素原子の状態によって緩和時間は異なる。また、傾斜磁場が掛かっているため、ラジオ波の周波数を変化させれば、特定の位置からのみのMR信号が得られる。これを利用すれば、計測場所の位置情報が得られる。そこで、MR信号の緩和時間の差でコントラストをつけ、脳の構造画像を得るのが核MRIの原理である。

MR信号は磁気の影響を受けやすい。DeoxyHbは磁性体であるため、脳が賦活してDeoxyHb濃度が低くなると、賦活した部分の磁化率は低くなり、MR信号が変化する。この現象が前述の小川誠二の発見によるBOLD効果である<sup>12)</sup>。このBOLD効果を利用して、経時的に撮像したMRI画像から、脳の賦活状態の変化を検出するのがfMRIである。fMRIの最大のメリットは、その計測原理からも明らかのように、「脳の活動」と、その活動の場である「脳の構造」の両方が計れることである。ただし、ラジオ波照射の周波数を変えながら脳全体をスキャンするには数百ミリ〜数秒程度の時間が掛かるため、時間分解能はMEG、EEGほど高くない。とはいえ、血流動態変化が数秒オーダーの現象であることを考えると、現象に適した時間分解能という解釈が妥当であろう。

一方、血流動態変化を光で計るのが、NIRSである。脳の活動に伴ってDeoxyHbとOxyHb濃度は変化する。両者の吸光特性は異なるので、2波長以上の光を使えば、それぞれの濃度変化が計測できる。基本的には、分光光度計の原理と同じであるが、生体内では、濃度測定

際に必要な参照試料が得られないので、相対的な濃度変化量を計測することになる。また、分光光度計では透過光を計測するが、NIRSでは散乱、反射光を計測する。この計測原理を以下に解説する。まず、1対の送光器-受光器ペアからなる1チャンネル計測の場合を考える。光源の半導体レーザーから発せられた光は、光ファイバー、頭表上に置かれた送光器を経て頭部に照射される。光子は四方八方に散乱しながら進むが、その中には、皮膚、頭蓋骨、そして脳を通して、3cmほど離れた頭表上の検出器で検出されるものがある(図2)。これを、光電子倍增管やアバランシェフォトダイオードで電気信号に変換する。もし、組織中に光を吸収する分子、すなわちヘモグロビンの濃度が高まると、通常の場合よりも、光の減衰が激しくなり、検出器に届く光の量が減少する。したがって、連続的な計測を行えば、DeoxyHb、OxyHb、TotalHbという3種類のヘモグロビン濃度の変化を捉えることができる。

ここで注意すべきは、fMRIとNIRSの計測対象は、脳血流の変化ではあるものの、微妙に異なるという点である。したがって、単純に脳の賦活と言っても、それぞれの持つ意味合いは違ってくる可能性がある。NIRSを脳機能計測法として確立するためには、計測されるシグナルが持つ意味を明確に把握することが必要であり、そのための最も直截な方法がfMRIとNIRSの同時計測である。

NIRSのプロローブは非磁性体で作成することも可能であるため、光ファイバーを長くすれば、fMRIとの同時計測は困難ではない(ただし、実際にやってみると、プロローブに塗られた塗料でMRIの画像が歪むといった予想外の問題が起こったりすることもあるが)。Kleinschmidtらの論文では、左右両側の運動野にNIRSのプロローブを設置し、片方の指運動課題中の脳活動をfMRIとNIRSで同時計測した<sup>16)</sup>。その結果、運動した指とは逆側の運動野でBOLD信号の増加とDeoxyHb信号の低下が観察された。一方、OxyHb信号の上昇は左右両側に観察されており、BOLD信号との一致度は低かった。

しかし、BOLD信号とDeoxyHb信号との互換性が高いからと言って、必ずしもDeoxyHbがOxyHbよりも優れた計測パラメーターであるわけではない。たしかに、BOLD信号を絶対的な基準とした場合、DeoxyHbの方が適切となるかもしれないが、BOLD信号自体があまり当てにならず、OxyHbの方がより適切に脳神経の活動を反映している可能性もある。また、通常、OxyHb

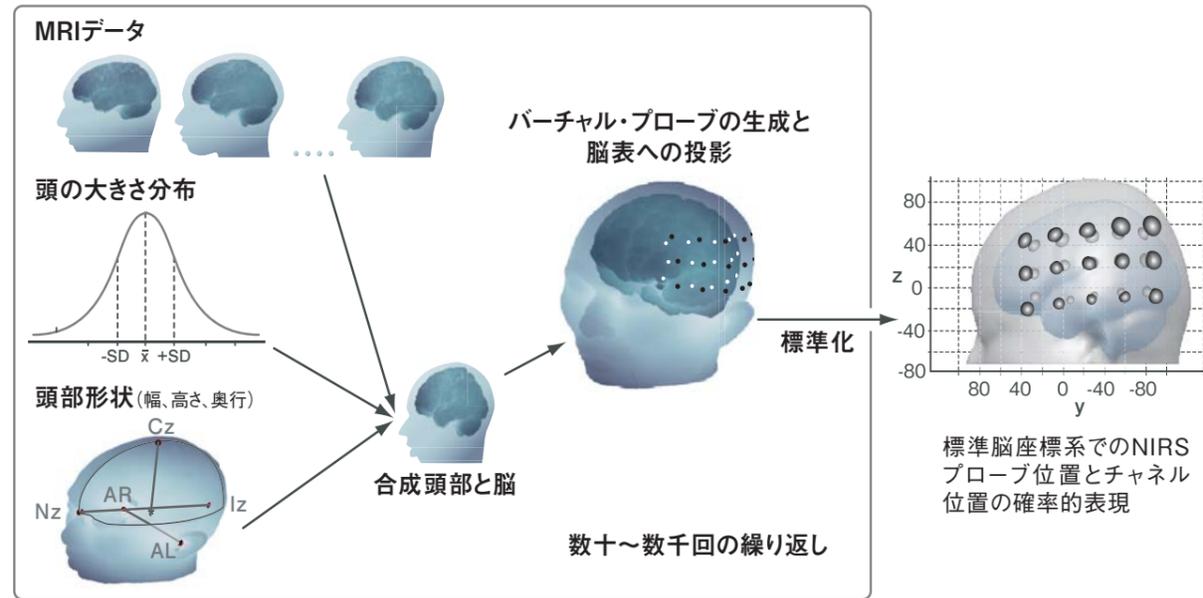


図6 バーチャルレジストレーションの概念図  
バーチャルレジストレーション法では、レジストレーションの場となる合成頭部と脳をデータベースよりサンプリングする。まず、任意のMRI画像を選択し、次に、任意の頭のサイズを選択肢、さらに、任意の頭部形状を選択する。これらを組合わせて合成頭部と脳を構築する。その上で、実際のNIRSプローブホルダーの変形と配置をシミュレートし、その結果を標準脳座標系に表現する。これらの作業を数千回程度繰り返せば、MR画像撮像も3次元デジタイザー計測も使わずにNIRSプローブの設置位置を、標準脳座標系上で推定することが可能となる。(参考文献24を改変)

信号は DeoxyHb 信号よりも振幅が大きいため、安定した計測が行えるという点では、替えがたい長所を有している。実際、第12位にランクされている Strangman らの論文も、別グループによる同時計測の検証であるが、この論文は OxyHb 信号により高い BOLD 信号との相関を見だしている<sup>18)</sup>。ただし、彼らはその原因は生理学的なものではなく、信号の大きさによるものと考えている(図5)。

NIRS は EEG との同時計測も可能である。第13位にランクされている Villringer らの研究は、NIRS-EEG、EEG-fMRI の同時計測をそれぞれ試みた意欲的な論文で、 $\alpha$  波の活動と BOLD 信号の負の相関と、 $\alpha$  波の活動と DeoxyHb 信号の正の相関を示している<sup>19)</sup>。

このように、異なる脳機能イメージング法で計測される信号の意味を繋ぐ上で、同時計測という手法は極めて有意義な手法である。この意義を反映してか、同時計測の論文は引用される頻度も高くなっている。ただし、通常使う方法としてお勧めできるものとは言い難い。解析時間は倍以上であり、安易にデータを取ると苦労するという点は留意すべきであろう。

### NIRS計測の妥当性検証

NIRS 計測の妥当性については、同時計測以外の様々な方法が試みられている。第9位タイにランクさ

れた Boas らの論文は、局在した脳活動の検出に対する NIRS の安定性を検討したものである<sup>20)</sup>。運動野の活動を対象として、いくつかの異なるプローブ配置によって、NIRS の計測パラメータである OxyHb 信号と DeoxyHb 信号の変化のパターンが一致するかどうかを検討したところ、不安定であることが分かった。一方、プローブ間距離の異なるプローブペアの組み合わせ、拡散方程式を適用することによって三次元の脳活動データを再構築する技術である DOT (diffused optical tomography) の計測結果は安定的で、定量化も可能というものであった。実測だけでなく、シミュレーションの結果も同様であった。Boas らの結果は、NIRS 計測は、計測位置の水平方向のズレには弱いという問題を指摘するもので、これは、上述の空間補間の問題と本質的には同じである。

このような問題の指摘は、時に NIRS 計測の全否定につながると思われがちであるが、現実的には、「ハサミの使い方」のごとき工夫で回避できることが多い。たとえば、多チャンネル計測において、隣接したチャンネル同士を見て、シグナルの強度のみからどちらの活性が高いかを比較することは危険である。しかし、あるチャンネルの活動が高くなっているかどうかを課題毎に比較することは特に問題となるわけではない。

もう一つの手段として重要なのが、動物実験である。

第19位の Hoshi らの論文は、ラットの脳血流を自在にコントロール可能な灌流モデルを構築し、脳血流、酸素化状態の変化と NIRS 計測パラメータの関係を検証したものである<sup>21)</sup>。この結果、脳活流の変化には OxyHb が敏感であるという結論を得ている。このような動物実験は、手間と熟練を要する地道な作業であるが、NIRS の発展には欠かせないものである。こういった一見地味な重要基礎研究が、高頻度の引用によって然るべき評価を得ているのは、喜ばしい傾向である。

### NIRS計測の空間解析問題

NIRS は、脳機能マッピングのツールとして大きな矛盾を抱えている。そもそも、「脳機能マッピング」とは、脳の構造が機能分化しているという前提にもとづいて、脳の構造と機能を結びつける学問である。しかし、NIRS 計測では、脳の構造情報は一切得られないまま機能情報のみを得る。NIRS 単独では、トポグラフィックな脳活動データが得られても、それを脳の構造に対応化(レジストレーション)することができない。これは脳機能マッピング法としては致命的な欠陥であった。そこで、筆者らは確率論的な手法によって、NIRS データを脳構造にレジストレーションする技術の開発に挑んだ。この第一歩となる論文が第11位にランクされている<sup>22)</sup>。これは、脳波計測で用いられる国際10-20法の基準点と fMRI の計測で標準的に用いられる Talairach と MNI の両3次元定位標準脳座標系との対応、さらには、解剖学的構造との対応を確率的に記載したものである。

ただし、筆者としては複雑な心境である。というのは、この論文は、NIRS データの空間解析法を完全に解決する第一歩に過ぎないのであるが、後続の論文はほとんど引用されず、この論文ばかりが引用を重ねてしまっているからである。そこで、本稿では、主に、日の目を見ていない後続の論文も含めて紹介させていただく。

NIRS 計測は頭表上で行われる。一方、計測されるシグナルの信号源は脳の表面に存在する。したがって、NIRS で計測される脳機能データを空間的に解析するためには、頭表と脳表を対応づけるという作業が必要となってくる。そこでまず、頭表上の位置を記述するために脳波研究で用いられる「国際10-20システム」と、fMRI 研究で脳の位置を記述するために用いられる「標準脳座標系」に着目し、これらの対応化を試みた。第一に、国際10-20システムの基準点における頭表-脳表対応基本データを取得し、これらの基準点位置を標準脳座標軸上で表現し、確率分布として表した。これ

らのデータを基に、参照脳データベースを構築した。これによって、頭表上の任意の点を国際10-20基準点を媒介として、標準脳座標系に標準化できる準備が整った。そこで、磁気式3Dデジタイザー(三次元座標測定計)による10-20システム基準点及びNIRSプローブ位置の測定データを用いて、被験者のMRI画像がない場合にも、上述の参照脳データベースを利用し、NIRS計測点を標準脳座標上に位置推定する、「確率的レジストレーション法」を開発した<sup>23)</sup>。

さらに、被験者の脳構造画像がなくても、データベースからランダムにリサンプリングした別の被験者の頭と脳を使って、NIRS 計測における信号源の空間的な位置をコンピュータシミュレーションで推定する「バーチャルレジストレーション法」を開発した(図6)<sup>24)</sup>。

NIRS プローブの設置とそれに伴う変形さえもコンピュータ上でシミュレーションするので、3Dデジタイザー計測の手間までも省略できる。その推定精度は概ね10mm以内であり、脳の主要な解剖学的単位である脳回の幅(約10mm)を考慮すると実用上、十分なレベルである。これによって、被験者の脳構造画像を用いなくとも、NIRS 単独で脳の計測位置を推定することが可能となり、NIRS の脳機能イメージング法としての実用性が大幅に向上した。

しかし、論文の被引用数が伸びないところを見ると、確率的レジストレーションもバーチャルレジストレーションも敷居が高い技術であるのかもしれない。筆者の思惑では、最初の論文はデータベース作成程度のものであったわけだが、明快さゆえに、人気は出ている。論文は出した後のプロモーションも重要であるとしみじみ感じる次第である。

### NIRSによる脳機能計測

ここまでの流れを振り返ってみると、脳機能自体を対象とした論文が全くないことに気づくだろう。その最たる理由は、NIRS がまだ発展途上の技術であることであろう。このため、技術的に重要な論文に被引用が集中する傾向があると思われる。しかし、その中でも、被引用数が100を超える“citation classic”の領域に到達した脳機能論文は3報出ている。

まず、第15位タイの Miyai らの論文は、NIRS による二足歩行中の脳活動計測の報告である<sup>25)</sup>。二足歩行は補足運動野に相当する領域の活動を伴うことを示している。当然のことながら、fMRI では歩行中の脳機能計測は不可能である。しかし、いくら NIRS が体動に強い

とはいえ、歩行中の計測はノイズとの戦いになる。また、計測対象とした頭頂部は光の通りにくい部位であり、計測は困難である。しかし、そのような困難にもかかわらず、計測を成し遂げたという迫力には圧倒されるだろう。また、運動リハビリテーション研究へのNIRSの有用性を示唆したという意味でもバイオニア的研究として、揺るぎない価値を持っていると言えるだろう。

第17位のPenaらによる論文は、NIRSによる乳幼児計測の中でも最も有名な研究である<sup>26)</sup>。fMRIは無侵襲といえども拘束性が強く、乳幼児の脳機能計測は困難であるが、NIRSは拘束性が極めて低く、乳幼児の脳機能計測法としては極めて有用なツールである。この論文では、新生児に通常の言語刺激とその逆回転によって作成した刺激を聞かせ、左半球の聴覚野に相当する領域で、言語刺激に特異的な賦活が見られたという現象を報告している。はたして新生児が言語を認識しているのかという点には、賛否両論があるようだが、乳幼児の脳機能計測におけるインパクトは極めて高かったということが被引用件数から窺える。

なお、この論文は、NIRSによる乳幼児計測の最初の論文として紹介されることが多いが、実際には、Meekらによる視覚刺激への応答報告が最初であり<sup>27)</sup>、聴覚刺激への応答についても、Sakataniらの論文が最初である<sup>28)</sup>。

最後に紹介する第18位のWatanabeらによる論文は、NIRSの医療応用を実現した記念碑的論文である<sup>29)</sup>。Watanabeらは、脳外科手術前の言語野同定法へNIRSによる脳賦活の計測を適用した。てんかん手術などを行う際は、切除範囲を決定するために、言語半球を同定する必要がある。一般的には、アミタールという麻酔剤を左右の頸動脈に注入して、どちらの半球を麻痺させたときに、言語機能が失われるかをみる。しかし、アミタールテストは侵襲性の高い方法であり、無侵襲の代替法の開発が望ましい。さらに、アミタールが製造中止となり、代替法の開発が急がれていた。そこで、Watanabeらは、患者に言葉を想起してもらい、どちらの脳が活動しているかをNIRSで計測することによって、言語半球を同定するという方法を開発した。この方法は、健康保険の項目としても収載されており、NIRSの医療応用を開拓した先鋭的研究として高い評価を受けている。

## むすび

このように、NIRS研究の発展における重要論文を、被引用件数から振り返って見たわけであるが、若干の偏りはあるものの、重要な技術開発はある程度網羅できているように感じられる。当初、この企画を考案した段階では、有名な機能研究が上位に連なるかと予測していたが、蓋を開けて見れば、方法論研究中心の展開となってしまった。しかし、あと5年もすれば、様相はかなり変化してくるものと思われる。特に、乳幼児研究、リハビリテーション、精神科分野などでの応用が進むに連れ、機能研究のウェイトは高くなっていくだろう。特に、精神科分野においては、NIRS研究の重要性が急速に高まっており<sup>30)</sup>、将来的に被引用の爆発的な増加が望まれると予想される。

なお、1993年以前に発表された脳血流の定量化研究は除いてある。特にUniversity College LondonのDelpy DTらによる乳幼児の脳血流定量化研究は重要であるが(たとえば、Wyatteら<sup>31)</sup>は被引用回数344件)、脳機能計測という観点とは若干ずれるという解釈から削除した。もし、これらを入れると、上位はDelpyの独占となる。また、NIRSによる脳機能研究に重要であるが、直接的ではない論文、たとえば、ヘモグロビンの吸光係数の研究(被引用回数242件)<sup>32)</sup>なども省いてある。しかし、もし、筆者の調査に漏れがあった場合は、ご指摘いただければ幸いである。

最後に強調すべき点として、我が国のNIRS研究における貢献が挙げられるであろう。ランキングで紹介した19論文中、10論文が我が国の研究者によるものである。他の脳機能イメージング分野ではあり得ない濃縮率である。少なくとも、現時点では我が国はNIRS研究におけるリードを保っていると言えるだろう。しかし、このリードが今後も続くとは限らない。あくまでも個人的感想ではあるが、筆者が本分野に参入した2002年当時、参考とした論文は荒削りながらも気迫の感じられる論文が多かったような気がするが、最近のNIRS論文は洗練されてはいるものの軽薄なものが多いように感じられる。さらに、今回はレビュー論文を除いたが、優れたレビュー論文はほとんど海外の著者によるものであるという点は指摘せねばならないだろう。優れた研究は散在するものの、これらを体系化するという作業において、我が国の研究者はまだ努力が足りないと言わざるをえない(筆者も含めて)。今後、我が国がNIRS脳機能研究におけるリードを保てるかどうか、5年、10年後の論文被引用動向から明らかになっていくことであろう。

## 謝辞

本研究の調査は、「生研センター・新技術新分野創出のための基礎研究推進事業」の一環として行われました。

## 参考文献

- Ogawa S., Lee T. M., Nayak A. S., Glynn P., "Oxygenation-sensitive contrast in magnetic resonance image of rodent brain at high magnetic fields." *Magn. Reson. Med.*, 14 (1), 68-78, 1990.
- Ogawa S., Lee T. M., Kay A. R., Tank D. W., "Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation." *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 87 (24), 9868-72, 1990.
- Jöbsis F. F., "Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters." *Science*, 198 (4323), 1264-7, 1977.
- Villringer A., Planck J., Hock C., Schleinkofer L., Dirnagl U., "Near infrared spectroscopy (NIRS): a new tool to study hemodynamic changes during activation of brain function in human adults." *Neurosci. Lett.*, 154 (1-2), 101-4, 1993.
- Hoshi Y., Tamura M., "Detection of dynamic changes in cerebral oxygenation coupled to neuronal function during mental work in man." *Neurosci. Lett.*, 150 (1), 5-8, 1993.
- Kato T., Kamei A., Takashima S., Ozaki T., "Human visual cortical function during photic stimulation monitoring by means of near-infrared spectroscopy." *J. Cereb. Blood Flow Metab.*, 13(3), 516-20, 1993.
- Chance B., Zhuang Z., UnAh C., Alter C., Lipton L., "Cognition-activated low-frequency modulation of light absorption in human brain." *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 90 (8), 3770-4, 1993.
- Haglund M. M., Ojemann G. A., Hochman D. W., "Optical imaging of epileptiform and functional activity in human cerebral cortex." *Nature*, 358 (6388), 668-71, 1992.
- Obrig H., Neufang M., Wenzel R., Kohl M., Steinbrink J., Einhäupl K., Villringer A., "Spontaneous low frequency oscillations of cerebral hemodynamics and metabolism in human adults." *Neuroimage*, 12 (6), 623-39, 2000.
- Schroeter M. L., Schmiedel O., von Cramon D. Y., "Spontaneous low-frequency oscillations decline in the aging brain." *J. Cereb. Blood Flow Metab.*, 24 (10), 1183-91, 2004.
- Schroeter M. L., Bücheler M. M., Preul C., Scheid R., Schmiedel O., Guthke T., von Cramon D. Y., "Spontaneous slow hemodynamic oscillations are impaired in cerebral microangiopathy." *J. Cereb. Blood Flow Metab.*, 25 (12), 1675-84, 2005.
- Maki A., Yamashita Y., Ito Y., Watanabe E., Mayanagi Y., Koizumi H., "Spatial and temporal analysis of human motor activity using noninvasive NIR topography." *Med. Phys.*, 22 (12), 1997-2005, 1995.
- Hoshi Y., Tamura M., "Dynamic multichannel near-infrared optical imaging of human brain activity." *J. Appl. Physiol.*, 75 (4), 1842-6, 1993.
- Okada E., Firbank M., Schweiger M., Arridge S. R., Cope M., Delpy D. T., "Theoretical and experimental investigation of near-infrared light propagation in a model of the adult head." *Appl. Opt.*, 36 (1), 21-31, 1997.
- Boas D., Culver J., Stott J., Dunn A., "Three dimensional Monte Carlo code for photon migration through complex heterogeneous media including the adult human head." *Opt. Express*, 10 (3), 159-70, 2002.
- Kleinschmidt A., Obrig H., Requardt M., Merboldt K. D., Dirnagl U., Villringer A., Frahm J., "Simultaneous recording of cerebral blood oxygenation changes during human brain activation by magnetic resonance imaging and near-infrared spectroscopy." *J. Cereb. Blood Flow Metab.*, 16 (5), 817-26, 1996.
- Haydon P. G., Carmignoto G., "Astrocyte control of synaptic transmission and neurovascular coupling." *Physiol. Rev.*, 86 (3), 1009-31, 2006.
- Strangman G., Culver J. P., Thompson J. H., Boas D. A., "A quantitative comparison of simultaneous BOLD fMRI and NIRS recordings during functional brain activation." *Neuroimage*, 17 (2), 719-31, 2002.
- Moosmann M., Ritter P., Krastel I., Brink A., Thees S., Blankenburg F., Taskin B., Obrig H.,

- Villringer A., "Correlates of alpha rhythm in functional magnetic resonance imaging and near infrared spectroscopy." *Neuroimage*, 20 (1), 145-58, 2003.
- 20) Boas D. A., Gaudette T., Strangman G., Cheng X., Marota J. J., Mandeville J. B. "The accuracy of near infrared spectroscopy and imaging during focal changes in cerebral hemodynamics." *Neuroimage*, 13 (1), 76-90, 2001.
- 21) Hoshi Y., Kobayashi N., Tamura M., "Interpretation of near-infrared spectroscopy signals : a study with a newly developed perfused rat brain model" , *J. Appl. Physiol.* 90 (5) , 1657-62, 2001.
- 22) Okamoto M., Dan H., Sakamoto K., Takeo K., Shimizu K., Kohno S., Oda I., Isobe S., Suzuki T., Kohyama K., Dan I., "Three-dimensional probabilistic anatomical cranio-cerebral correlation via the international 10-20 system oriented for transcranial functional brain mapping." *Neuroimage*, 21 (1) , 99-111, 2004.
- 23) Singh A. K., Okamoto M., Dan H., Jurcak V., Dan I., "Spatial registration of multichannel multi-subject fNIRS data to MNI space without MRI." *Neuroimage*, 27 (4) , 842-51, 2005.
- 24) Tsuzuki D., Jurcak V., Singh A. K., Okamoto M., Watanabe E., Dan I., "Virtual spatial registration of stand-alone fNIRS data to MNI space." *Neuroimage*, 34 (4) , 1506-18, 2007.
- 25) Miyai I., Tanabe H. C., Sase I., Eda H., Oda I., Konishi I., Tsunazawa Y., Suzuki T., Yanagida T., Kubota K. "Cortical mapping of gait in humans : a near-infrared spectroscopic topography study." *Neuroimage*, 14 (5) , 1186-92, 2001.
- 26) Peña M., Maki A., Kovacic D., Dehaene-Lambertz G., Koizumi H., Bouquet F., Mehler J., "Sounds and silence : an optical topography study of language recognition at birth." *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 100 (20) , 11702-5, 2003.
- 27) Meek J. H., Firbank M., Elwell C. E., Atkinson J., Braddick O., Wyatt J. S., "Regional hemodynamic responses to visual stimulation in awake infants." *Pediatr. Res.*, 43 (6) , 840-3, 1998.
- 28) Sakatani K., Chen S., Lichty W., Zuo H., Wang Y. P., "Cerebral blood oxygenation changes induced by auditory stimulation in newborn infants measured by near infrared spectroscopy." *Early Hum. Dev.*, 55 (3) , 229-36, 1999.
- 29) Watanabe E., Maki A., Kawaguchi F., Takashiro K., Yamashita Y., Koizumi H., Mayanagi Y., "Non-invasive assessment of language dominance with near-infrared spectroscopic mapping." *Neurosci. Lett.*, 256 (1) , 49-52, 1998.
- 30) Suto T., Fukuda M., Ito M., Uehara T., Mikuni M., "Multichannel near-infrared spectroscopy in depression and schizophrenia : cognitive brain activation study." *Biol. Psychiatry.*, 55 (5) , 501-11, 2004.
- 31) Wyatt J. S., Cope M., Delpy D. T., Wray S., Reynolds E. O., "Quantification of cerebral oxygenation and haemodynamics in sick newborn infants by near infrared spectrophotometry." *Lancet*, 2 (8515) , 1063-6, 1986.
- 32) Matcher S. J., Elwell C. E., Cooper C. E., Cope M., Delpy D. T., "Performance comparison of several published tissue near-infrared spectroscopy algorithms." *Anal. Biochem.*, 227 (1) , 54-68, 1995.

## 印象記／弘前大学国際シンポジウム(1)

### 弘前大学大学院保健学研究科 「第1回 緊急被ばく医療国際シンポジウム」開催 -放射線基礎研究から緊急被ばく医療まで- The 1st International Symposium on Radiation Emergency Medicine in Hirosaki University



立崎 英夫 (Hideo Tatzuzaki)

緊急被ばく医療研究センター  
被ばく医療部 障害診断室 室長  
立崎 英夫



小木曾氏の講演後の討議

2009年8月1日(土)に青森県弘前市にある弘前大学医学部コミュニケーションセンターにおいて、The 1st International Symposium on Radiation Emergency Medicine in Hirosaki University (弘前大学大学院保健学研究科第1回緊急被ばく医療国際シンポジウム)が開催されました。筆者はこのシンポジウムに参加する機会を得ましたので、その様子を紹介させていただきます。

青森県は原子力施設が多く集まっている県ですが、同県にある唯一の国立大学として、弘前大学では緊急被ばく医療にも力を入れており、放医研とも研究協力協定を結んでいます。弘前大学の活動に関しては、次の山田氏からの寄稿に詳しく書かれていますが、このような背景に基づき、このシンポジウムは弘前大学創立60周年記念事業の一環として、弘前大学大学院保

健学研究科による主催、放医研、(財)環境科学技術研究所、(独)日本原子力研究開発機構(JAEA)による共催、青森県及び弘前市の後援で開催されました。

英文・和文プログラムを表1・表2に載せますので発表タイトルに関してそちらを見ていただければと思います。なお、全ての発表は英語で行われました。シンポジウムI「放射線生命科学における基礎研究」では、弘前大学大学院保健学研究科の工藤氏、伊藤氏、柏倉氏から消化管系及び造血系に関する放射線障害と細胞移植による治療に関する最近の研究結果が報告されました。シンポジウムII「緊急被ばく医療における放射線医学総合研究所・国の取り組み」では、放医研の明石氏、立崎、吉田氏から、被ばく医療体制、JCO事故の住民対応、放医研の研修、染色体線量評価の概要が報告されました。

シンポジウムⅢ「放射線生命科学における基礎研究・長期的影響」では、(財)環境科学技術研究所の小木曾氏、田中氏から同研究所のマウスへの長期低線量率照射実験の結果が報告されました。シンポジウムⅣ「体内被ばく時の対応について」では、JAEAの百瀬氏、日本原燃(株)の宮川氏、神氏より、アルファ線核種の測定線量評価と、実際の六ヶ所村の核燃料サイクル施設での被ばく医療体制、特にジエチレントリアミンペンタ酢酸(DTPA)の備えについて報告されました。

本国際シンポジウムには海外からも3人の招待講演者が招かれました。シンポジウムⅤ「国外における被ばく事故例について」では、中国 Beijing Institute of Radiation Medicine (北京放射医学研究所) (放医研とも研究協力覚書を結んでいる研究所です)のChen(陳)氏により、2004年に山東省で発生した高線量外部被ばく事故の臨床経過が報告されました。最後のシンポジウムⅥ「国外における被ばく事故における治療について」

では、フランス Hôpital d'Instruction des Armées PercyのLataillade氏、及びBey氏により、間葉系幹細胞移植を利用した放射線皮膚軟部組織障害治療の基礎と臨床例が示されました。

プログラムは被ばく医療の基礎からシステム、臨床まで幅広くカバーされており、この分野の現況がよくわかるもので、ホールに集まった弘前大学の学生の方からも熱心な質問が出ていました。

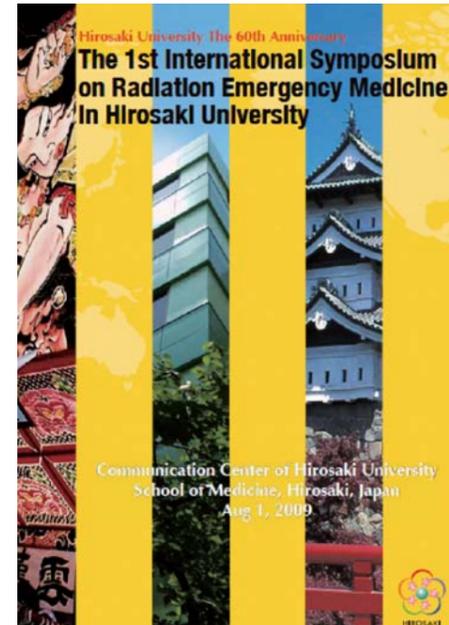
シンポジウム開催日は弘前のねぶた祭りの初日にあたり、弘前大学も毎年山車を参加させているそうです。シンポジウム終了後の夜には、外国人ゲストスピーカーや何人かの参加者は、弘前大学の出す山車に大学の浴衣や法被を纏い加えていただき、伝統文化を堪能しました。



シンポジスト一同



討議中のChen氏



アブストラクト表紙

表1: 英文プログラム

Program

July 31, 2009 (Fri)	
18:30 ~ 20:30	Welcome Reception (Hotel New Castle)
August 1, 2009 (Sat)	
9:00	Registration
9:30 ~ 9:35	Opening & Welcome Prof. Masahiko Endo, President of Hirosaki University
Symposium I	
Chair: Prof. Takashi Kondo, Toyama University, Japan	
9:35 ~ 9:50	Effects of mesenchymal stem cell transplantation in preventing radiation-induced intestinal injury in mice K. Kudo <sup>1)</sup> , Y. Liu <sup>2)</sup> , K. Takahashi <sup>1)</sup> , K. Tarusawa <sup>1)</sup> , D.-L. Hu <sup>3)</sup> , I. Kashiwakura <sup>1)</sup> , H. Kijima <sup>4)</sup> , and A. Nakane <sup>3)</sup> 1) Department of Radiological Life Sciences, Division of Medical Life Sciences, Hirosaki University Graduate School of Health Sciences, Japan. 2) Particle Radiation Oncology Research Center, Research Reactor Institute, Kyoto University, Japan. 3) Department of Microbiology and Immunology, Hirosaki University Graduate School of Medicine, Japan. 4) Department of Pathology and Bioscience, Hirosaki University Graduate School of Medicine, Japan.
9:50 ~ 10:05	Recovery of the hematopoietic system after murine allogeneic umbilical cord blood transplantation H. Sato, K. Ito, and K. Ito Department of Biomedical Sciences, Hirosaki University Graduate School of Health Sciences, Japan.
10:05 ~ 10:20	Correlations of cell surface antigens with the individual differences of radio-sensitivity in human hematopoietic stem/progenitor cells S. Monzen, N. Hayashi, K. Takahashi, and I. Kashiwakura Department of Radiological Life Sciences, Hirosaki University Graduate School of Health Sciences, Japan.
Symposium II	
Chair: Dr. Yoichi Oghiso, Institute for Environmental Sciences, Japan	
10:20 ~ 10:35	Radiation Emergency Medical Preparedness in Japan and a Criticality Accident at Tokai-mura M. Akashi Research Center for Radiation Emergency Medicine, National Institute of Radiological Sciences (NIRS), Japan
10:35 ~ 10:50	Overview of NIRS Educational Programs on Radiation Emergency Medical Preparedness H. Tatsuzaki Diagnosis Section, Department of Radiation Emergency Medicine, Research Center for Radiation Emergency Medicine, National Institute of Radiological Sciences (NIRS), Japan
10:50 ~ 11:05	Chromosome abnormality as a genetic indicator for radiation dose assessment and carcinogenesis M. A. Yoshida Biodosimetry Section, Department of Radiation Dose Assessment, Research Center for Radiation Emergency Medicine, National Institute of Radiological Sciences (NIRS), Japan.
11:05 ~ 11:20	Break

Symposium III	
Chair: Prof. Mikinori Kuwabara, Hokkaido University, Japan	
11:20 ~ 11:35	Experimental Studies on Biological Effects of Continuous Exposure of Mice to Low-Dose-Rate Gamma-Rays in a Special Reference to Transgenerational Effects and Biological Defense System Y. Oghiso Department of Radiobiology, Institute for Environmental Sciences, Japan
11:35 ~ 11:50	Chromosome Aberration Rates in Splenocytes and Genomic Alterations in Malignant Lymphoma from Mice Long-Term Exposed to Low-Dose-Rate Gamma-Rays K. Tanaka Department of Radiobiology, Institute for Environmental Sciences (IES), Japan
11:50 ~ 13:00	Lunch
Symposium IV	
Chair: Dr. Kiyomitsu Kawachi, Nuclear Safety Technology Center, Japan	
13:00 ~ 13:15	Radiation Detection and Measurement in Patients Contaminated with Alpha Emitters T. Momose, O. Kurihara, C. Takada, and S. Furuta Radiation Protection Department, Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories, Japan Atomic Energy Agency, Japan.
13:15 ~ 13:30	Preparation for Radiation Emergency Medicine in Rokkasho Nuclear Fuel Cycle Facilities T. Miyakawa, and Y. Jin Japan Nuclear Fuel Ltd, Japan.
13:30 ~ 13:45	DTPA Administration Methods for Accidents of a Particle Contamination Y. Jin Emergency Medicine Team, Japan Nuclear Fuel Ltd, Japan
Symposium V	
Chair: Dr. Yutaka Jin, Japan Nuclear Fuel Ltd, Japan	
13:45 ~ 14:35	Shandong Radiation Exposure October 21, 2004 Y. Jin <sup>1)</sup> , and X. Chen <sup>2)</sup> 1) Emergency team, Japan Nuclear Fuel Ltd., Japan 2) Beijing Institute of Radiation Medicine, China
14:35 ~ 14:45	Break
Symposium VI	
Chair: Dr. Makoto Akashi, NIRS, Japan	
14:45 ~ 15:35	A New Therapeutic Approach for Radiation Burns combining Surgery and Mesenchymal Stem Cell Administrations: About four cases E. Bey <sup>1)</sup> and J. J. Lataillade <sup>2)</sup> 1) Hôpital d'Instruction des Armées Percy, Service de Chirurgie Plastique, Avenue Henri Barbusse, 92141 Clamart, France. 2) Hôpital d'Instruction des Armées Percy, Centre de Transfusion Sanguine des Armées Jean Julliard, Département Recherches et Thérapies Cellulaires, BP 410, 92141 Clamart, France.
15:35 ~ 16:25	Mesenchymal Stem Cells as Drug Cells for Radiation Burn Treatment E. Bey <sup>1)</sup> and J. J. Lataillade <sup>2)</sup> 1) Hôpital d'Instruction des Armées Percy, Service de Chirurgie Plastique, Avenue Henri Barbusse, 92141 Clamart, France. 2) Hôpital d'Instruction des Armées Percy, Centre de Transfusion Sanguine des Armées Jean Julliard, Département Recherches et Thérapies Cellulaires, BP 410, 92141 Clamart, France.
16:25 ~ 16:30	Closing Remarks Prof. Hitoshi Tsushima, Head of Hirosaki University Graduate School of Health Sciences

表2: 和文プログラム

平成21年8月1日(土)	
9:00	受付開始
9:30	開会の辞
9:35	弘前大学長・遠藤 正彦
<b>シンポジウム I: 「放射線生命科学における基礎研究」</b>	
座長: 近藤 隆 富山大学大学院医学薬学研究所・教授	
9:35	工藤 幸清 (弘前大学大学院保健学研究科・助教)
9:50	「高線量照射マウスモデルにおける腸管障害の再生に対する間葉系幹細胞の作用」
9:50	伊藤 巧一 (弘前大学大学院保健学研究科・准教授)
10:05	「致死線量全身照射マウスモデルにおける脾帯血移植実験について」
10:05	柏倉 幾郎 (弘前大学大学院保健学研究科・教授)
10:20	「ヒト造血幹細胞の放射線感受性の個体差を評価する」
<b>シンポジウム II: 「緊急被ばく医療における放射線医学総合研究所・国の取り組み」</b>	
座長: 小木曾 洋一 財団法人 環境科学技術研究所 生物影響研究部長	
10:20	明石 真言 (独立行政法人放射線医学総合研究所 緊急被ばく医療研究センター長)
10:35	「日本における緊急被ばく医療対策と東海村における臨界事故」
10:35	立崎 英夫 (独立行政法人放射線医学総合研究所 緊急被ばく医療研究センター 被ばく医療部 障害診断室長)
10:50	「緊急被ばく医療に対する放射線医学総合研究所の教育プログラム」
10:50	吉田 光明 (独立行政法人放射線医学総合研究所 緊急被ばく医療研究センター 被ばく線量評価部 生物線量評価室長)
11:05	「染色体異常評価による放射線被ばく量の推定について」
11:05	コーヒーブレイク
11:20	

<b>シンポジウム III: 「放射線生命科学における基礎研究・長期的影響」</b>	
座長: 桑原 幹典 北海道大学 名誉教授	
11:20	小木曾 洋一 (財団法人環境科学技術研究所 生物影響研究部長)
11:35	「長期低線量γ線照射に伴う次世代への影響と生体防御システムに関する研究」
11:35	田中 公夫 (財団法人環境科学技術研究所 生物影響研究部次長)
11:50	「長期低線量γ線照射誘発性リンパ腫における遺伝的変化に関する研究」
11:50	昼食
13:00	
<b>シンポジウム IV: 「体内被ばく時の対応について」</b>	
座長: 河内 清光 財団法人原子力安全技術センター 特任専事	
13:00	百瀬 琢磨 (独立行政法人日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター 核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部 次長)
13:15	「α核種の体内汚染の測定について」
13:15	宮川 俊晴 (日本原燃株式会社 安全技術室 放射線管理部長)
13:30	「六ヶ所原子燃料サイクル施設における緊急被ばく医療への備え」
13:30	神 裕 (日本原燃株式会社 業務管理室 げんねん診療所長)
13:45	「α核種体内被ばく事故時におけるキレート剤DTPA投与について」
<b>シンポジウム V: 「国外における被ばく事故例について」</b>	
座長: 神 裕 日本原燃株式会社 業務管理室 げんねん診療所長	
13:45	Xiaohua Chen (Beijing Institute of Radiation Medicine, China)
14:35	「2004年に中国で発生した高線量被ばく事故例に関する報告」
14:35	休憩
14:45	
<b>シンポジウム VI: 「国外における被ばく事故における治療について」</b>	
座長: 明石 真言 独立行政法人放射線医学総合研究所 緊急被ばく医療研究センター長	
14:45	Eric Bey (Hôpital d'Instruction des Armées Percy, France)
15:35	「放射線熱傷に対する外科的治療と間葉系幹細胞療法を組合せた新しい治療アプローチ: 4症例について」
15:35	Jean-Jacques Lataillade (Hôpital d'Instruction des Armées Percy, France)
16:25	「放射線熱傷治療に対する間葉系幹細胞の細胞治療」
16:25	閉会の辞
16:35	弘前大学大学院保健学研究科長・對馬 均



第1回緊急被ばく医療国際シンポジウムポスター

印象記／弘前大学国際シンポジウム(2)

弘前大学大学院保健学研究科

「緊急被ばく医療国際シンポジウム」開催

-放射線基礎研究から緊急被ばく医療まで-

The 1st International Symposium on Radiation Emergency Medicine in Hirosaki University



山田 修平 (Syuhei Yamada)

国立大学法人弘前大学  
保健学研究科 事務長  
山田 修平



図1: シンポジウム会場の弘前大学医学部コミュニケーションセンター

弘前大学大学院保健学研究科では、弘前大学創立60周年記念事業の一環として「放射線基礎研究から緊急被ばく医療まで」をテーマに第1回弘前大学国際シンポジウム「緊急被ばく医療国際シンポジウム」を8月1日(土)、弘前大学医学部コミュニケーションセンターで開催しました(図1)。

今回のシンポジウムは、独立行政法人放射線医学総合研究所、財団法人環境科学技術研究所、独立行政法人日本原子力研究開発機構と共催、青森県及び弘前市の後援により開催したもので、関係機関から約140名が出席しました。弘前大学大学院保健学研究科における「緊急被ばく医療人材育成プロジェクト」の成果の恒常的かつ国際的な情報発信の場とし、かつ弘前大学大学院保健学研究科の教育・研究の活性化を図るこ

とを目的に、フランスをはじめ国内外の関係機関から14名のシンポジストらを迎え、放射線基礎研究、国内外の被ばく事故例や取り組みなど、六つのテーマについて講演が行われました。

講演後は、活発な質疑応答が行われるなど、参加者からは知識を深めました(図2、3)。

国際シンポジウム前日には、市内のホテルにてウェルカムレセプションが開催され、シンポジストら関係者と弘前大学大学院保健学研究科の教員が今後の連携推進に向け交流を深めました(図4、5)。

また、シンポジウム終了後は、同日から開催された津軽の夏の夜を焦がす国の重要無形民俗文化財に指定されている弘前ねぶたまつりに参加しました。三国志や水滸伝などを題材にした勇壮で色鮮やかな武者絵が描かれた

扇形の灯籠を笛・太鼓・鉦位置の哀調を帯びた囃子にのせて「ヤーヤードー」の掛け声と共に市内を練り歩き、地域文化の交流も深められました。

なお、同日出陣した弘前大学ねぶたは、昭和39年の初参加以来連続46回参加しており、今夏、ねぶたの歴史や文化の保存、継承に貢献した個人・団体に贈られる「弘前ねぶた保存会長賞」を受賞しました(図6)。

**弘前大学大学院保健学研究科**  
**「緊急被ばく医療人材育成プロジェクト」**

弘前大学大学院保健学研究科では、緊急被ばく事故の被害に対する安全、安心の確保、原子力関連企業従事者の医療リスク管理システムの構築及び被ばく医療に対応できるメディカルスタッフの養成を目指し、平成19年度から緊急被ばく医療人材育成の取組みを開始しました。平成20年度からは文部科学省特別教育研究経費(連携融合事業)「緊急被ばく医療人材育成及び体制の整備」として5カ年のプロジェクトを実施しています。

被ばく事故について考える場合、その予防が最も重要な課題ですが、万一事故が発生した場合の対応も必須の課題です。その中でも緊急被ばく医療は、高度の医療を必要とする場合が多いことが予想されます。従いまして、緊急被ばく医療体制の整備は、既に進行しつつある核燃料再処理事業に対応した喫緊の課題であります。また、こうした課題は、環境負担の小さいエネルギー政策が求められる現代にあつては、国家の基盤をなす事業でもあると言えます。特に、内部被ばく事故発生の可能性に対しては、高度医療に加えて、実際の収容から医療までの特別な対応や措置を想定した体制の整備が求められています。

青森県は、核燃料再処理工場をはじめとする原子力関連事業所を多く有するという特徴を有しています。こうした特殊性に配慮して、日ごろから被ばく事故に備えた緊急時の医療体制を構築することは、これら原子力関連事業を円滑に進める上で基本的な条件であります。本プロジェクトのメインテーマは、青森県内唯一の高度先進医療施設である弘前大学医学部附属病院において、こうした課題の解決に向けた取り組みとして、被ばく事故に備えた緊急時医療体制の整備を図ることです。

緊急被ばく医療には高度医療の集約が不可欠ですが、それにとどまらず、被ばく患者の看護、汚染対策や除染、被ばく線量の測定、特殊臨床検査などのような、特別の対応が求められます。一方、現在行われている医学教育では、日常的医療の中での放射線医学が中心となってい



図2: Bey氏の講演後の討議



図3: 挨拶する對馬 均弘前大学保健学研究科長



図4: 遠藤正彦弘前大学長の歓迎の挨拶

ることから、緊急被ばく医療への対応には、特殊な教育が必須となります。

本プロジェクトは、これら緊急被ばく医療に対応する体制を整備するもので、多くの原子力関連事業を抱える青森県においてに特に必要な事業であり、地域的な特殊性を踏まえた地域貢献策でもあります。

現在、弘前大学医学部附属病院では、被ばく医療を含めた高度救急医療体制の充実を目的とした高度救命救急センターの設置に向けて準備が進められています。有事の際にはこれを母体として緊急被ばく医療チームが編

成されます。いつ起こるとも限らない緊急被ばく事故への備えとして、日本原燃株式会社や放射線医学総合研究所との連携協力により、患者搬送、被ばく患者看護、除染・線量測定、高度被ばく医療など、種々のシミュレーション訓練や研修を実施するとともに、大学院保健学研究科を中心として、看護学領域における被ばく患者看護、放射線技術科学領域における汚染対策や除染、線量測定を始めとして、検査技術科学領域における特殊臨床検査など、被ばく医療に特化した医療専門職の人材養成に向けた教育研究を推進しています。



図5: 交流が深められたウェルカムレセプション



図6: 初参加以来連続46回出陣し、「弘前ねぶた保存会長賞」を受賞した弘前大学ねぶた

## 講演会のお知らせ

# 放医研HIMAC 15周年記念講演会 重粒子線がん治療の15年 — 5000例の治療成果 —

HIMAC が可能にした重粒子線がん治療は、体への負担が少なく、治療が難しいとされる種類のがんに対しても高い治療効果が認められるなど、世界が注目する最先端の放射線治療です。放医研が重粒子線がん治療を開始して15年が経過し、症例数は5000を超え、重粒子線がん治療は新たな展開の時期を迎えようとしています。

本講演会では、肺がんや前立腺がんなど、がん種別に治療成績を詳しく報告すると共に、より高い治療効果が期待される次世代照射技術をご紹介します。そして、重粒子線がん治療の本格的な普及と日本のがん医療全体を発展させるための方策について、各界の専門家により討議していただきます。本講演会には、皆様お誘いの上、是非ご来場ください。



※写真はイメージです。

### 放医研 HIMAC 15 周年記念講演会 重粒子線がん治療の 15 年 — 5000 例の治療成果 —

日 時：平成21年10月23日(金) 13:00~17:45  
 場 所：有楽町 東京国際フォーラム ホールB7(TEL:03-5221-9000)  
<http://www.t-i-forum.co.jp/function/map/index.html>  
 参 加 費：無料  
 主 催：独立行政法人 放射線医学総合研究所  
 申 込 み：参加登録が必要です。  
 定員1000人(定員になり次第、締め切ります)  
 定員に達しましたので、参加登録は終了いたしました。  
 たくさんのご応募、ありがとうございました。  
 参加登録に関するお問い合わせ:03-5966-5784

※本講演会の内容に関する事前のお問い合わせ先:放射線医学総合研究所 広報課HIMAC15周年記念事業事務局  
 電話:043-206-3026 E-mail: info@nirs.go.jp

## プログラム

13:00~ 受付  
 13:30 開演  
 13:30~13:50 挨拶

### 講演1「重粒子線がん治療成果報告」—5000例の治療成果—

13:50~14:05 全体概要…鎌田正(放医研)  
 14:05~14:15 頭頸部…溝江純悦(放医研)  
 14:15~14:25 肺…山本直敬(放医研)  
 14:25~14:35 肝臓…安田茂雄(放医研)  
 14:35~14:45 直腸…山田滋(放医研)  
 14:45~14:55 前立腺…辻比呂志(放医研)  
 14:55~15:05 骨・軟部…菅原信二(放医研)

### 講演2「重粒子線治療の展開」—次世代照射技術と普及—

15:05~15:25 次世代照射システムと日本における建設計画…野田耕司(放医研)  
 15:25~15:35 群馬大学の状況…山田聰(群馬大)  
 15:35~15:55 コーヒーブレイク

### 特別講演

15:55~16:35 「我が国のがん対策」—個人として国として—  
 国立がんセンター名誉総長 日本対がん協会会長 垣添忠生  
 16:35~16:40 休憩

### パネル討論会

16:40~17:40 「我が国のがん医療と重粒子線治療の未来」—放医研に期待するもの—  
 パネリスト

黒川卓	日本経済新聞社編集局科学技術部
梶原拓	健康医療市民会議代表、前岐阜県知事
海老原敏	国立がんセンター東病院名誉院長
中川恵一	東京大学医学部付属病院放射線科准教授
川淵孝一	東京医科歯科大学大学院医療経済分野教授
辻井博彦	放医研理事

### コーディネーター

菅原牧子 日本大学芸術学部教授

17:40~17:45 閉会挨拶

## 編集後記

読者の皆様、もう初秋の時期になりましたがお変わりないでしょうか。今年の夏は関東でも天候が大変不順でして、8月の後半頃になってやっと夏らしい日が来ましたが、9月上旬の天気恵まれた日曜日、佐倉市の郊外の森に出かけましたが、夏が短かったせいでしょうか、蟬が元気に鳴いていました。私は夏が好きな季節の一つですので、まだまだ夏が残っているように感じましたので、大変嬉しい気がしました。

本誌9月号をお届けいたします。今月号の特集記事は、9月11日に当所で開催し、多くの皆様にご参加頂き盛会でした、第15回公開講座「放射線・人の心・重粒子線がん治療を知る」について、3人の講師の皆さんに、当日の講演内容を基に執筆願いました。3題の講演はそれぞれに興味ある内容でしたので、参加された皆さんからも大変分かり易かったとことで大変好評でした。次ぎの記事は、近赤外分光分析法(NIRS)による“脳機能の計測技術”の発展においての重要な論文につき、引用された件数の側面から本技術の確立など新しい切り口からレビューした力作です。近年、急速に進展し注目を集めている“人の心を知る脳科学”の視点からも興味ある内容になっています。また、印象記は、8月に弘前大学で開催された「緊急被ばく医療国際シンポジウム—放射線基礎研究から緊急被ばく医療まで—」について、本講演会の演者を務めた当所と、主催者側である弘前大学の方に、それぞれの立場から講演会について解説願いました。今年の9月30日は、JCO臨界事故後10年目に当たりますが、緊急被ばく医療に対する取り組みは今後も大切であると考えます。それでは、引き続きご愛読頂ければ有り難いと思います。(OM)

## 次号予告

### 最近の成果

1)「メダカでがんを視る:新しいがんのモデル動物」  
 —先人たちが残してくれたもの—  
 分子イメージング研究センター 分子病態イメージング研究グループ  
 長谷川純崇

2)「ブロッコリーよりの抽出物スルフォラファンに放射線増感作用があることを発見」  
 重粒子医学科学センター 粒子線生物研究グループ  
 岡安 隆一

### 最近のトピック

(仮題)「サイエンスしながら特許は書ける」  
 —特許の戦略—  
 山形大学大学連携推進室  
 前田裕司

### 編集委員会

委員長 酒井 一夫	小橋 元	立崎 英夫
委員 内堀 幸夫	菊池 達矢	鈴木 敏和
白川 芳幸	長谷川純崇	杉森 裕樹
高田 真志	神田 玲子	
玉手 和彦	石井 伸昌	
金澤 光隆		
事務局 岡本 正則		

# 放射線科学

## 第52巻 第9号

2009年9月15日発行

### 編集・発行

独立行政法人 放射線医学総合研究所  
 〒263-8555 千葉県稲毛区穴川4-9-1  
 電話 043(206)3026 Fax.043(206)4062 Eメール info@nirs.go.jp  
 本誌 URL:<http://www.nirs.go.jp/info/report/rs-sci/index.shtml>  
 (禁無断転載)



秋の季節の色になるまではもう少しの  
 水生動物舎前の柿(洪)



<http://www.nirs.go.jp>