■本資料のご利用にあたって（詳細は「利用条件」をご覧ください）

本資料には、著作権の制限に応じて次のようなマークを付しています。
本資料をご利用する際には、その定めるところに従ってください。

＊：著作権が第三者に帰属する著作物であり、利用にあたっては、この第三者より直接承諾を得る必要があります。

CC：著作権が第三者に帰属する第三者の著作物であるが、クリエイティブ・コモンズのライセンスのもとで利用できます。

🄯：パブリックドメインであり、著作権の制限なく利用できます。

なし：上記のマークが付されていない場合は、著作権が東京大学及び東京大学の教員等に帰属します。無償で、非営利的かつ教育的な目的に限って、次の形で利用することを許諾します。

Ⅰ　複製及び複製物の頒布、譲渡、貸与
Ⅱ　上映
Ⅲ　インターネット配信等の公衆送信
Ⅳ　翻訳、編集、その他の変更
Ⅴ　本資料をもとに作成された二次的著作物についてのⅠからⅣ

ご利用にあたっては、次のどちらかのクレジットを明記してください。

東京大学　Todai OCW　学術俯瞰講義
Copyright 2012, 小泉 英明

The University of Tokyo / Todai OCW　The Global Focus on Knowledge Lecture Series
Copyright 2012, Hideaki Koizumi

「光の科学」
東京大学学術俯瞰講義
駒場キャンパス　21KOMCEE
２０１２年１２月１３日（木）　１６：３０～１８：００

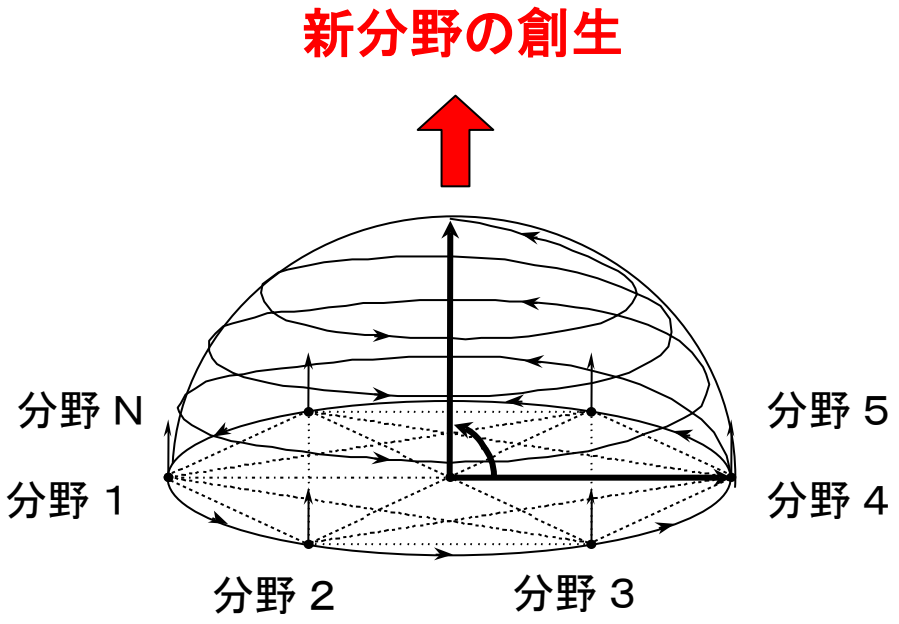
自然や人間を光で観る
ー原子から精神までー

小 泉 英 明
日立製作所 役員待遇フェロー
日本工学アカデミー 理事・国際委員長

要素還元論から俯瞰統合論の時代へ

Trans-disciplinarity (TD)

- 多くの異分野を架橋・融合して新科学技術・新産業を創生
- 科学技術と人文学・社会科学を架橋・融合して新分野を創生
- 研究と実践現場を架橋・融合（暗黙知・形式知）



協創：Co-Creation　新結合：New-Combination　(Innovation)

Brain-Science & XYZ

脳科学応用（Applied Brain Science）

脳科学 ＋ 医療（精神医学を含む）・情報通信・ロボティックス・教育・社会・経済・倫理・芸術・生存規範、etc.

Koizumi, H. (ed.), *TD Symposium on Mind-Brain Science & Its Practical Applications*, Hitachi, Ltd. (1995)

Mind, Brain, and Education
(2007-)

Blackwell
(現 Wiley-Blackwell)

http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/(ISSN)1751-228X

自然科学と人文・社会科学架橋・
融合のプラットフォームの必要性

The Best New Journal Award (AAP)

Why *Mind, Brain, and Education*? Why Now?

Kurt W. Fischer[1], David B. Daniel[2], Mary Helen Immordino-Yang[3], Elsbeth Stern[4], Antonio Battro[5], and Hideaki Koizumi [6] (Editors)

第1巻第1号巻頭（2007）

The International Mind, Brain, and Education Society has launched *Mind, Brain, and Education* to promote the integration of the diverse disciplines that investigate human learning and development—to bring together education, biology, and cognitive science to form the new field of mind, brain, and education. Human beings are unique in their ability to learn through schooling and diverse kinds of cultural instruction. Education plays a key role in cultural transformations: It allows members of a society, the young in particular, to efficiently acquire an ever-evolving body of knowledge and skills that took thousands of years to invent. It is time for education, biology, and cognitive science to join together to create a new science and practice of learning and development.

ciples for designing schools and other educational settings to optimize effective learning and healthy development?

Answering key questions about mind, brain, and education requires reciprocal interaction between scientific research and practical knowledge of educators and caregivers. There must be a dynamic interaction between scientific research and practical knowledge, with practice shaping scientific questions as much as research shapes practice. For example, research in neuroscience and genetics gains different meanings and values as educators and caregivers translate it to practice, connecting it to the ways that children act and learn in schools and communities. Reading a book in school or at home is not the same as reading words in a laboratory study

* Fischer et al. (2007) Why *Mind, Brain, and Education*? Why Now?, *Mind, Brain, and Education* 1(1): 1-2.

新しい方法論創出による環境・医療・教育へのアプローチ

1970年　1980年　1990年　2000年　2010年

ローマ教皇庁科学アカデミ再招聘
（Sience of Humanityを提唱）

ローマ教皇庁科学アカデミ
400周年記念講演
（Brain-Science & Education）

「脳科学と教育」概念提唱
（発達障害療育法・認知症予防法他を国家プロジェクト展開）

光トポグラフィ法 ＜大河内賞本賞・日経BP技術賞大賞・RD-100賞＞
（完全非侵襲・低拘束の脳機能描画法）

「人に優しい」検査法概念提唱 ＜グッドデザイン医療福祉部門大賞・通産大臣賞＞
（磁気共鳴描画装置で実現）

磁気共鳴血管描画法
（脳ドックによる予防保全）

音速イオン化質量分析法 ＜大河内賞・文部科学大臣奨励賞＞
（人体・環境中の超高感度分子検出）

偏光ゼーマン原子吸光法 ＜大河内賞・科学技術庁長官賞・IR-100賞＞
（人体・環境中の極微量金属の検出・管理）

ゼーマン原子吸光法（自然水銀法）
（水俣病他水銀汚染の実態把握／人体・食品・
環境中の水銀分析）

人類の安寧とよりよき生存
Human Security & Well-Being

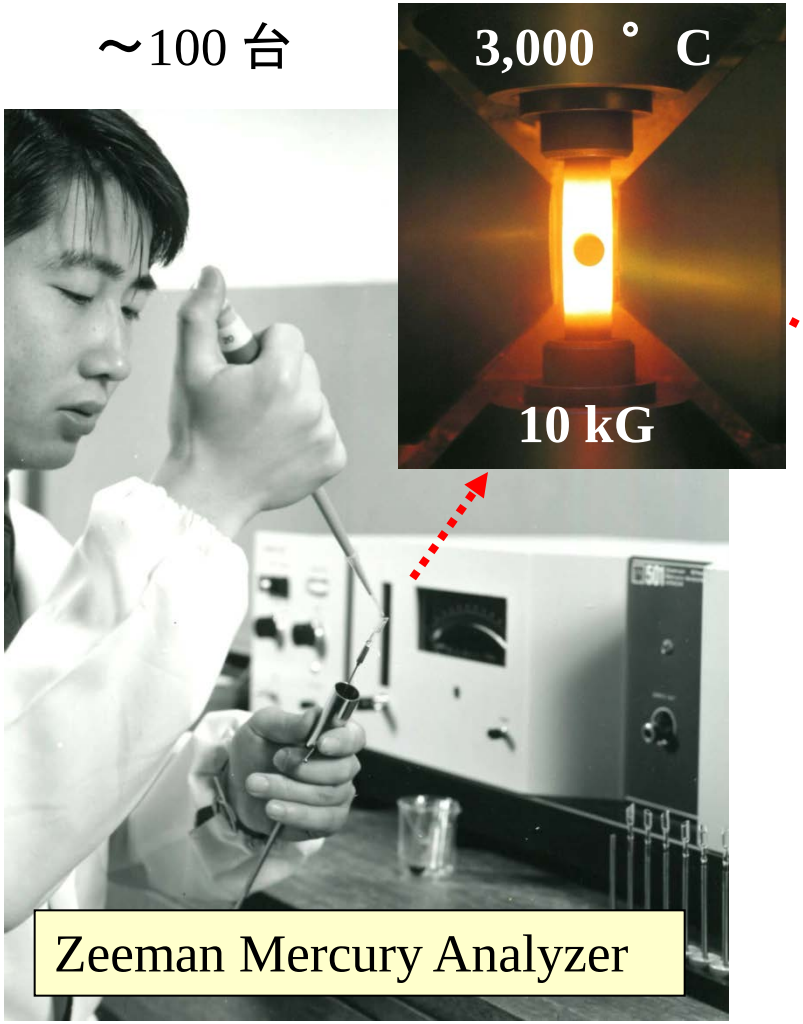
「生存の質」の向上
（Quality of Life: QOL）

上記業績は世界初のものに限っており、日本初の超伝導0.5TMRI製品化（1986年）・機能的磁気共鳴描画（fMRI）開発（1992年）などは除外。

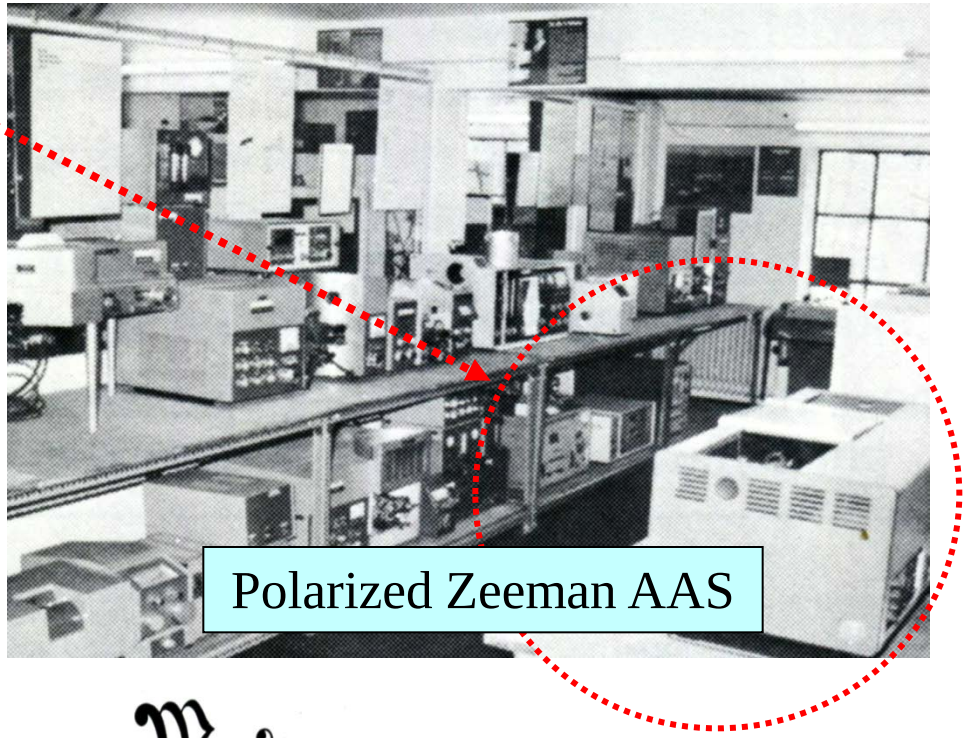
社内共同研究者に関しては
感謝しつつ表記を割愛

ゼーマン水銀分析計から偏光ゼーマン原子吸光へ

～100 台

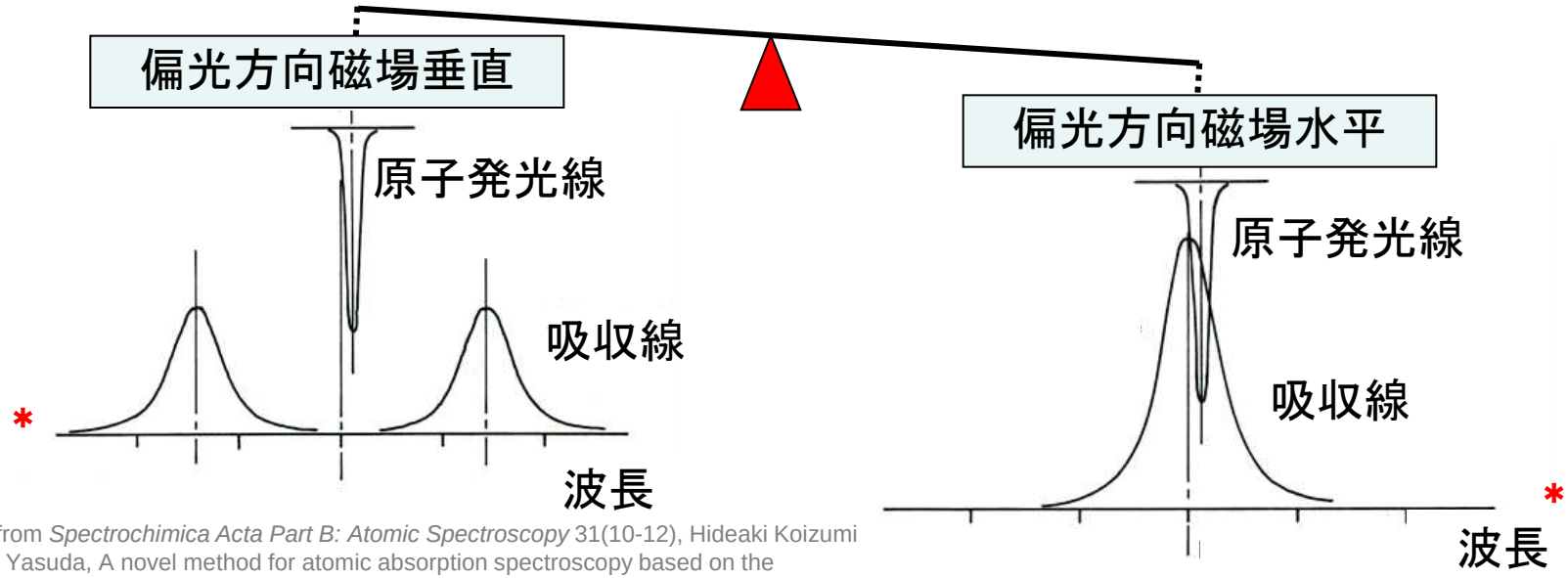


～10,000 台

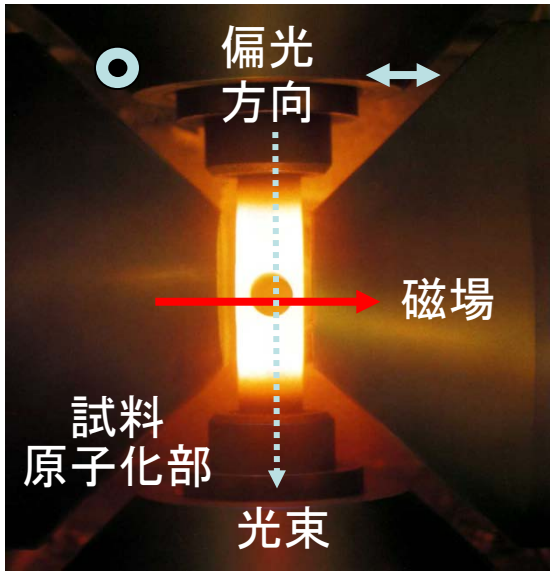


Museum für Instrumentelle Analytik

偏光ゼーマン原子吸光法の原理



Reprinted from *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy* 31(10-12), Hideaki Koizumi and Kazuo Yasuda, A novel method for atomic absorption spectroscopy based on the analyte-Zeeman effect, 523–535, Copyright 1976, with permission from Elsevier.



主・方位・スピン・**磁気**
の4つの量子数

1点のみ
対称破壊

1975年原理発見・1976年実用化
以降25カ国へ約10，000台出荷

時代とともに応用が生まれる

Koizumi H. et al, *Anal. Chem.* (1977) *Science* (1977)

30年間ほぼトップシェア

2012年現在の新応用分野
＊ Li電池の材料開発
＊ 放射性Cs除染法開発

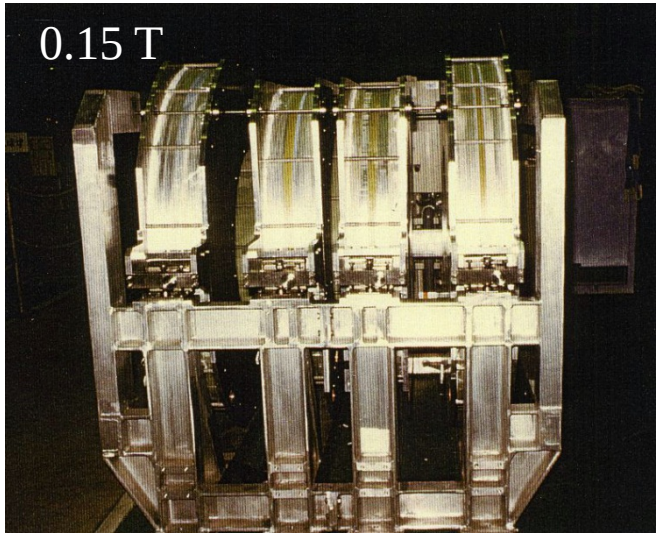
偏光ゼーマン原子吸光光度計

電磁石による初期MRI

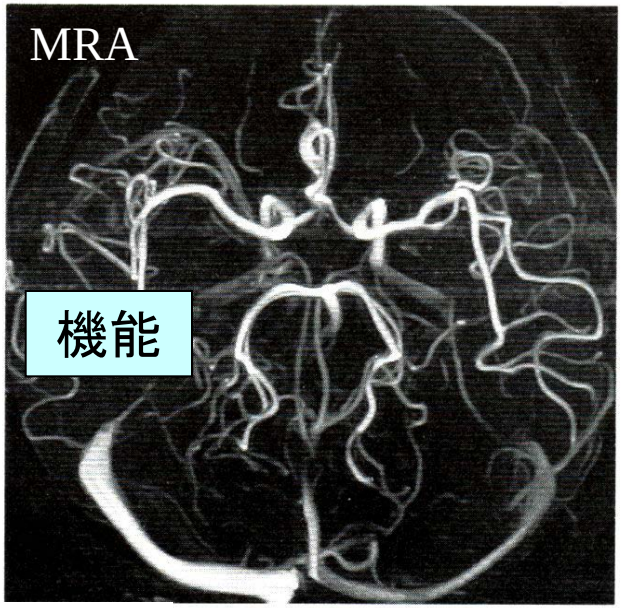
血管描画原理と初期画像

1983年

形態



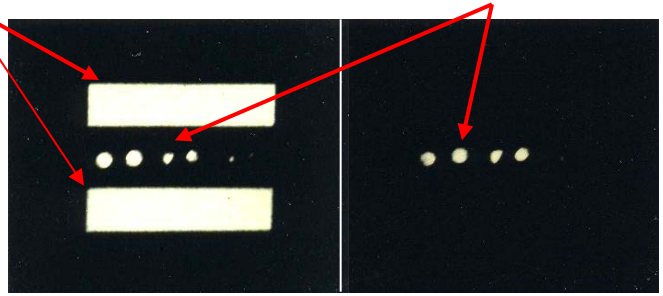
Instrument Div. Hitachi, Ltd. (1984)



機能

静止水

流動水

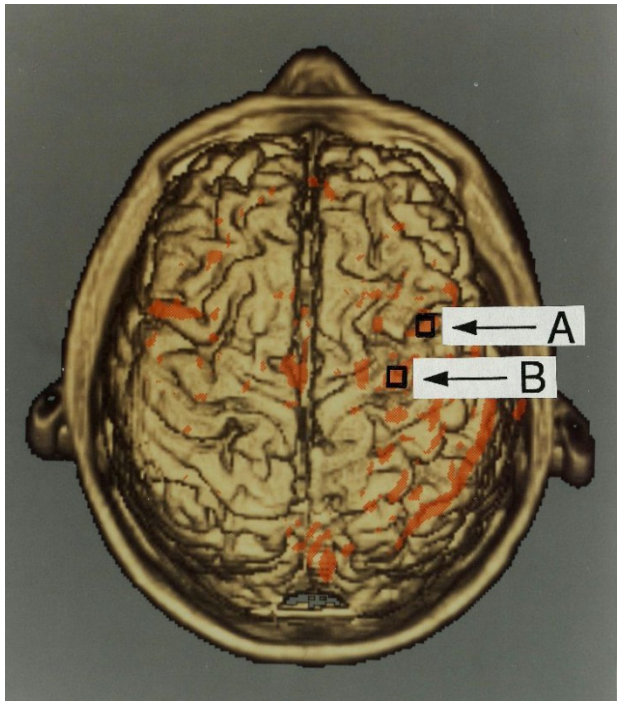


Sano, K., Koizumi, H. et al,
Japanese Patent (1985)

fMRIによる最初の想起テスト（BMIの原点）

＊ 『映像情報MEDICAL』（産業開発機構株式会社）1992年12月号の表紙

左手の運動想起

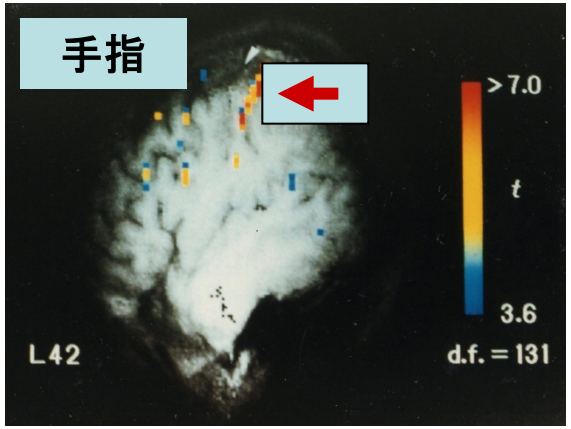


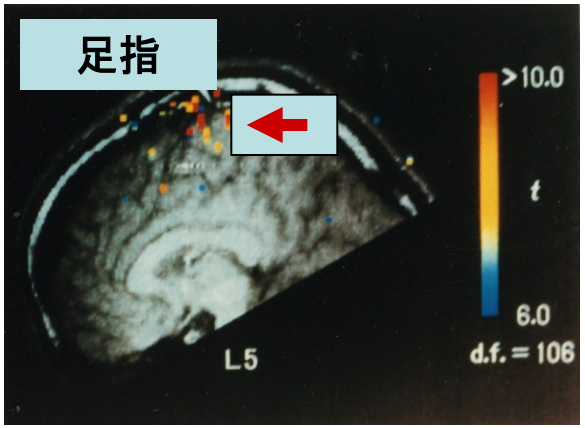
＊ 山本悦治, 高橋哲彦, 滝口賢治, 小野寺由香里, 板垣博幸, 小泉英明 (1992)「超高速MRIによる無侵襲脳機能計測」『映像情報MEDICAL』24(26): 1466-1467, p.1467, 図2

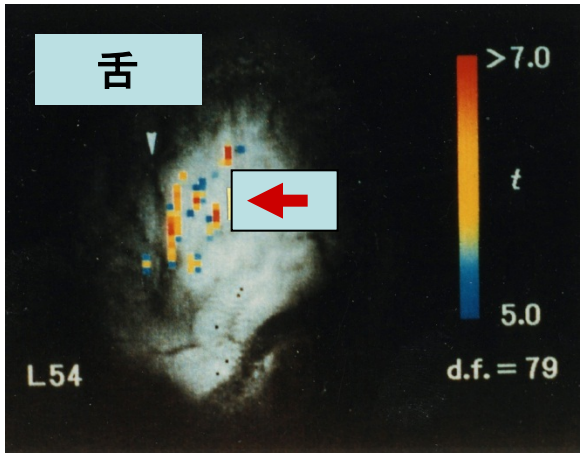
A: 運動前野（強く賦活）
B: 第一次運動野

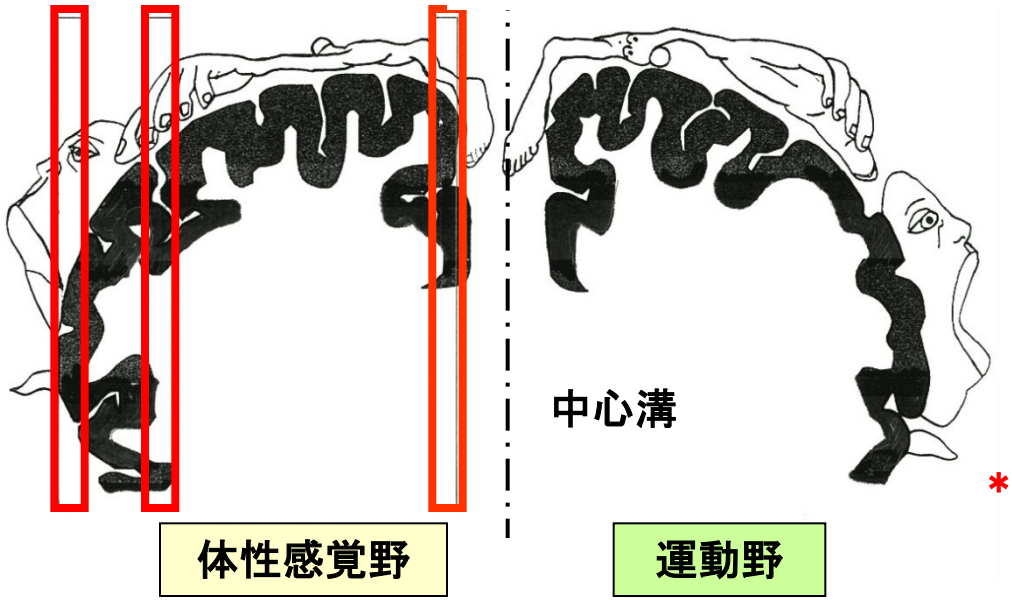
Hitachi CRL (1992)

fMRIによる最初の体性感覚野の観察





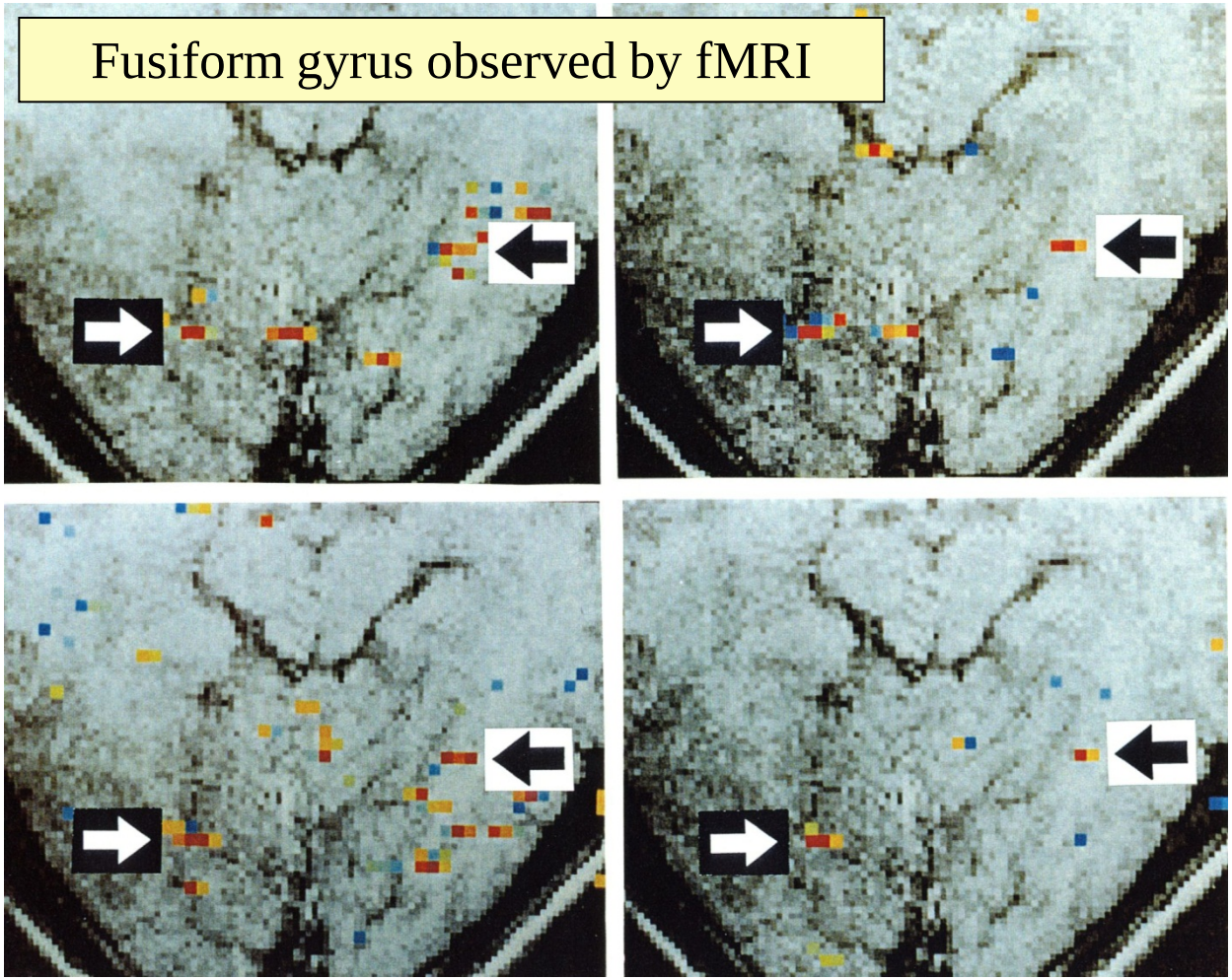


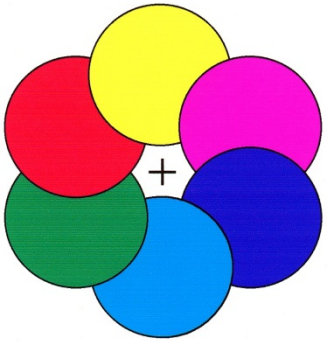


Collaboration with Miyashita, Y., Sakai, K. Group, *MRM* (1994)

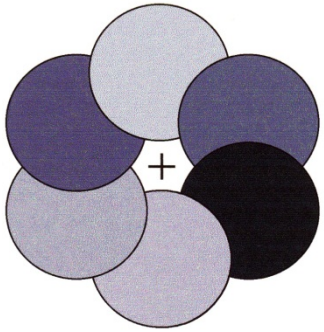
図・画像出典：小泉英明ほか（2004）「脳と心を観る：無侵襲高次脳機能イメージング」『電子情報通信学会誌』第87巻第3号、207-214、p.209図4 ©2004 IEICE

fMRIで観測されたヒトのカラーセンタ





*



*

両パターンからの
信号差分を画像化

*

Collaboration with Y. Miyashita & K. Sakai's group,
Univ, of Tokyo, *Proc. R. Soc. Lond. B* (1995)

主観的残像の計測へ

図・画像出典：Sakai et al. (1995) Functional Mapping of the Human Colour Centre with Echo-Planar Magnetic Resonance Imaging, *Proceedings of the Royal Society B* 261(1360): 89-98, pp.91-92, Figs.1, 2a.

非侵襲脳機能イメージング

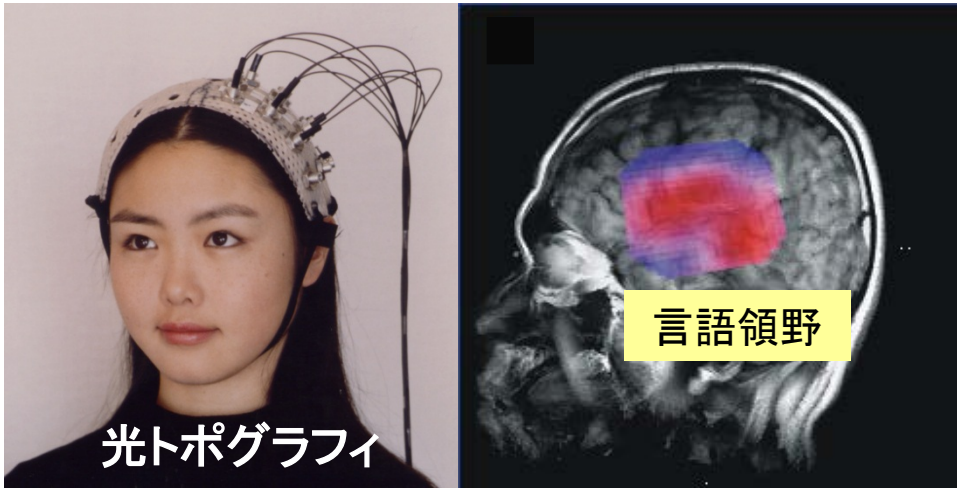
* (C)JDP All rights reserverd.
本画像は公益財団法人日本デザイン振興会が、グッドデザイン賞受賞作紹介用途としてかかる受賞企業から提供を受けたものである。

被験者に対する影響皆無へ
⇒ 相互作用を最小限に

時間・空間分解能必要
⇒ 極微小相互作用で必要信号取得

極限高度先端技術が必須
（MRI は2003年度ノーベル生理学・医学賞）

Koizumi H, *Kagaku (Science)* (2004)



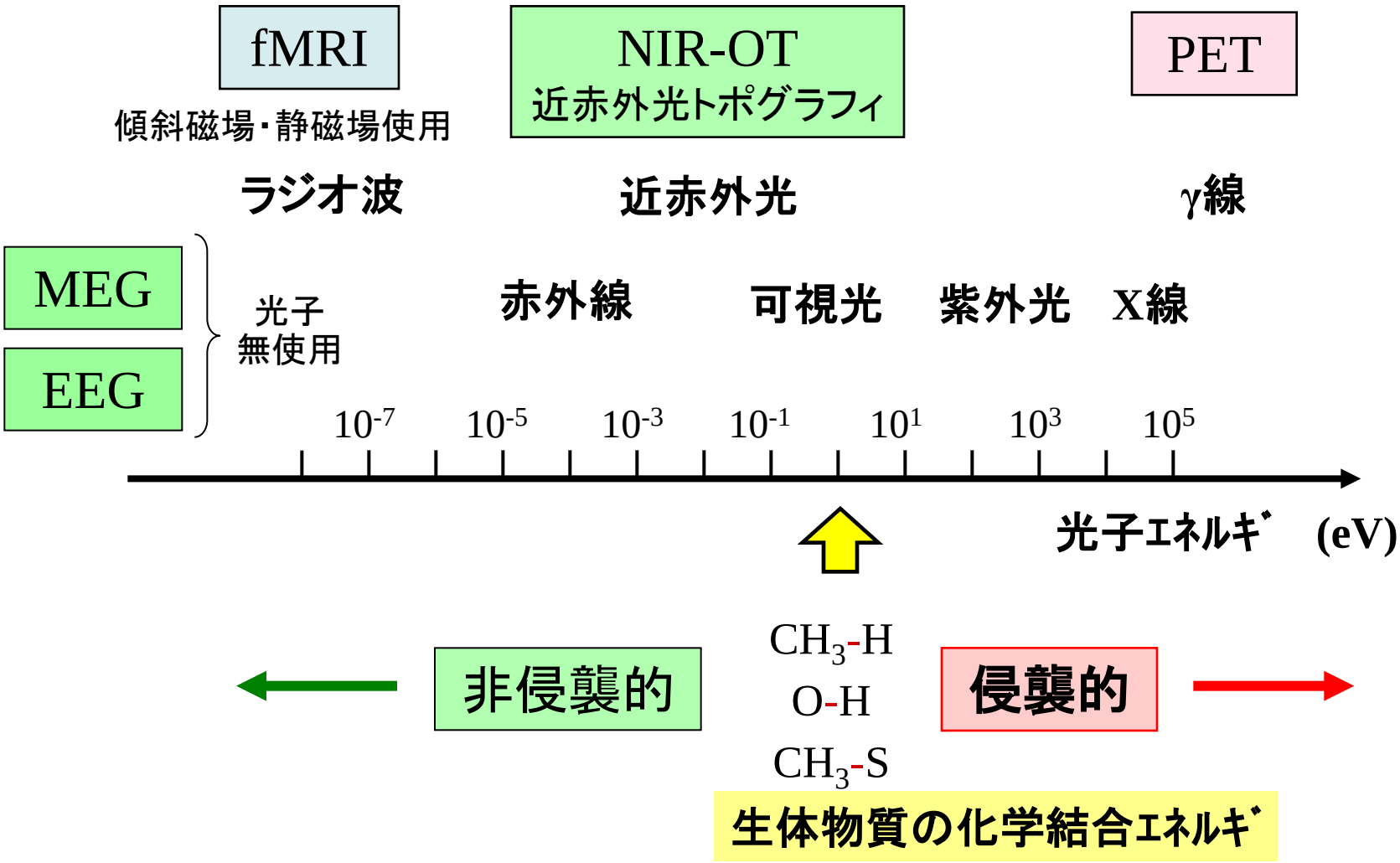
（学術用語として商標公開）

図左上：MRH-500 developed by Hitachi Group
History of Industrial Design, Italy (1990)

図左下：Optical Topography Developed by Hitachi CRL, *Medical Physics (1995)*

* Koizumi et al. (2003) Optical Topography: Practical Problems and New Applications, *Applied Optics* 42(16): 3054-3062, p.3056, Fig.4.

非侵襲脳機能イメージングの安全性

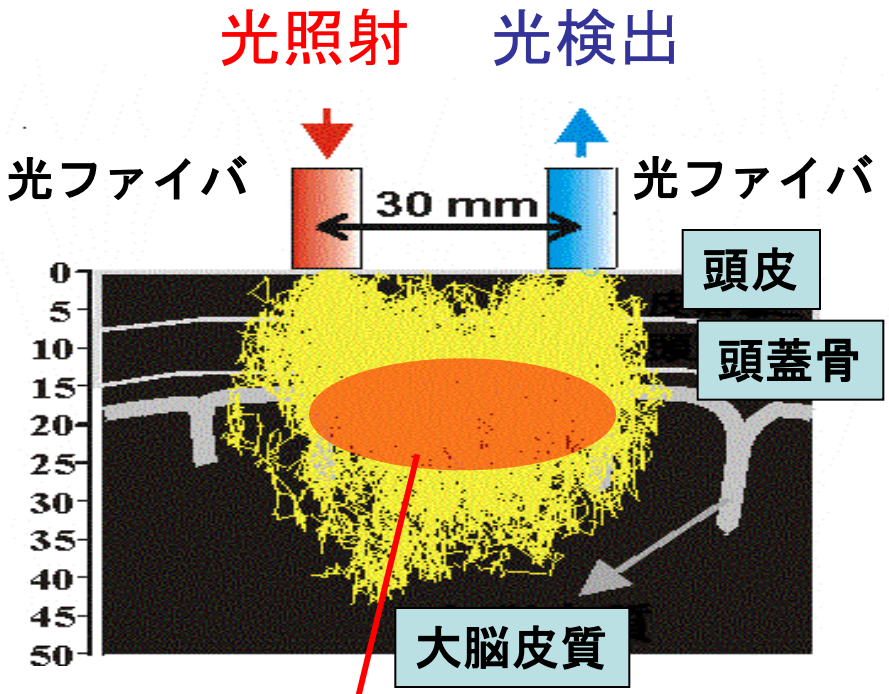


Ito, Y., Koizumi, H. et al., *J. Biomed. Opt.* (2000)

近赤外光トポグラフィ (NIR-OT)

自然な環境下での計測可能

基本的には半導体装置

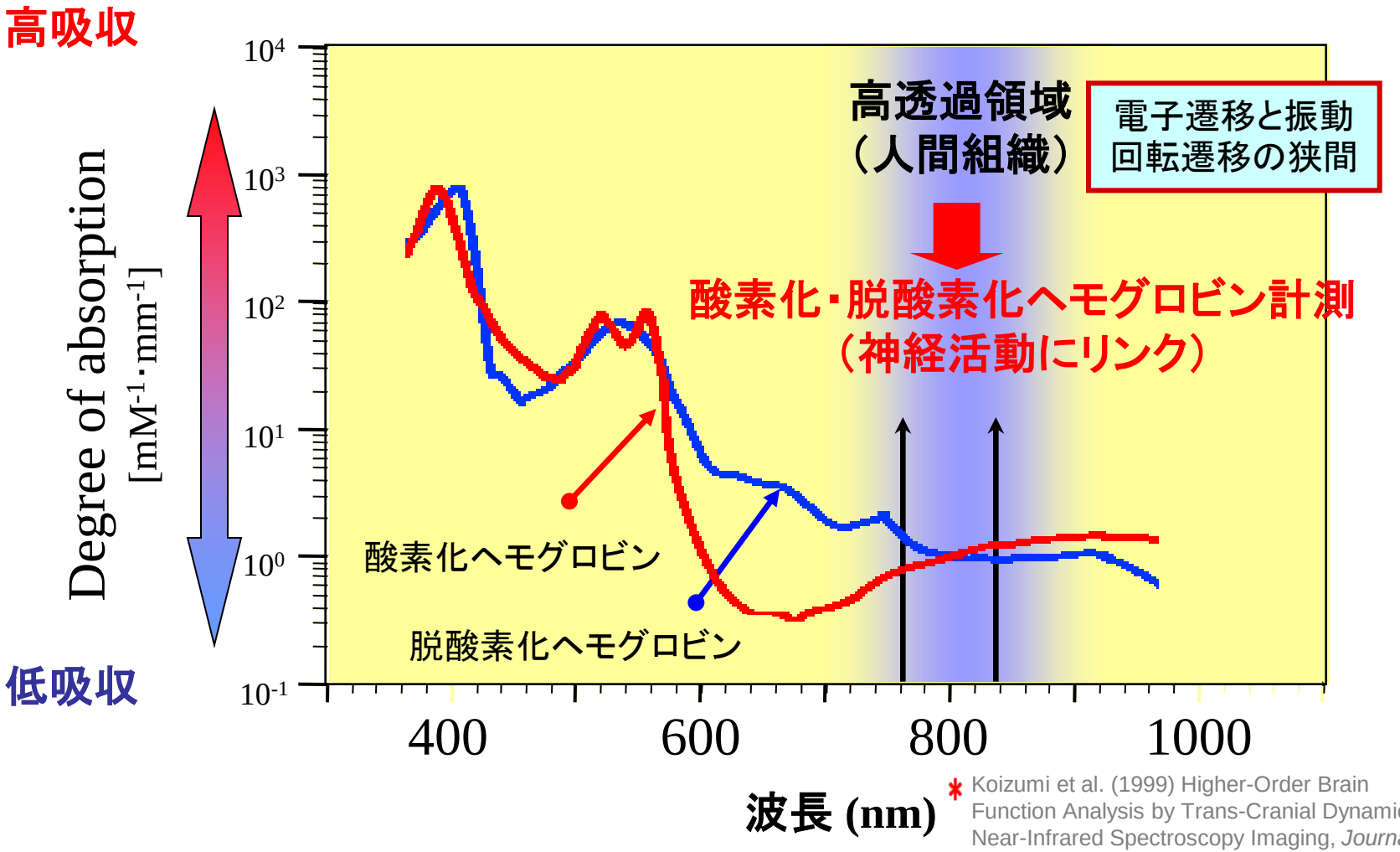


* 小泉英明ほか(2004)「脳と心を観る:無侵襲高次脳機能イメージング」『電子情報通信学会誌』第87巻第3号、207-214、p.210図6 ©2004 IEICE

神経活動により誘起された血液量変化を計測

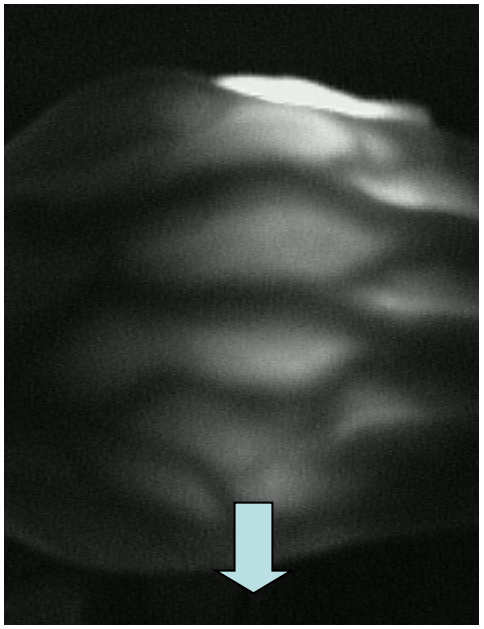
Maki A., et al & Koizumi H., *Med. Phys.* (1995)
Yamashita, et al & Koizumi H., *Rev. Sci. Instrum.* (1996)

酸素化・脱酸素化ヘモグロビンの吸光スペクトル



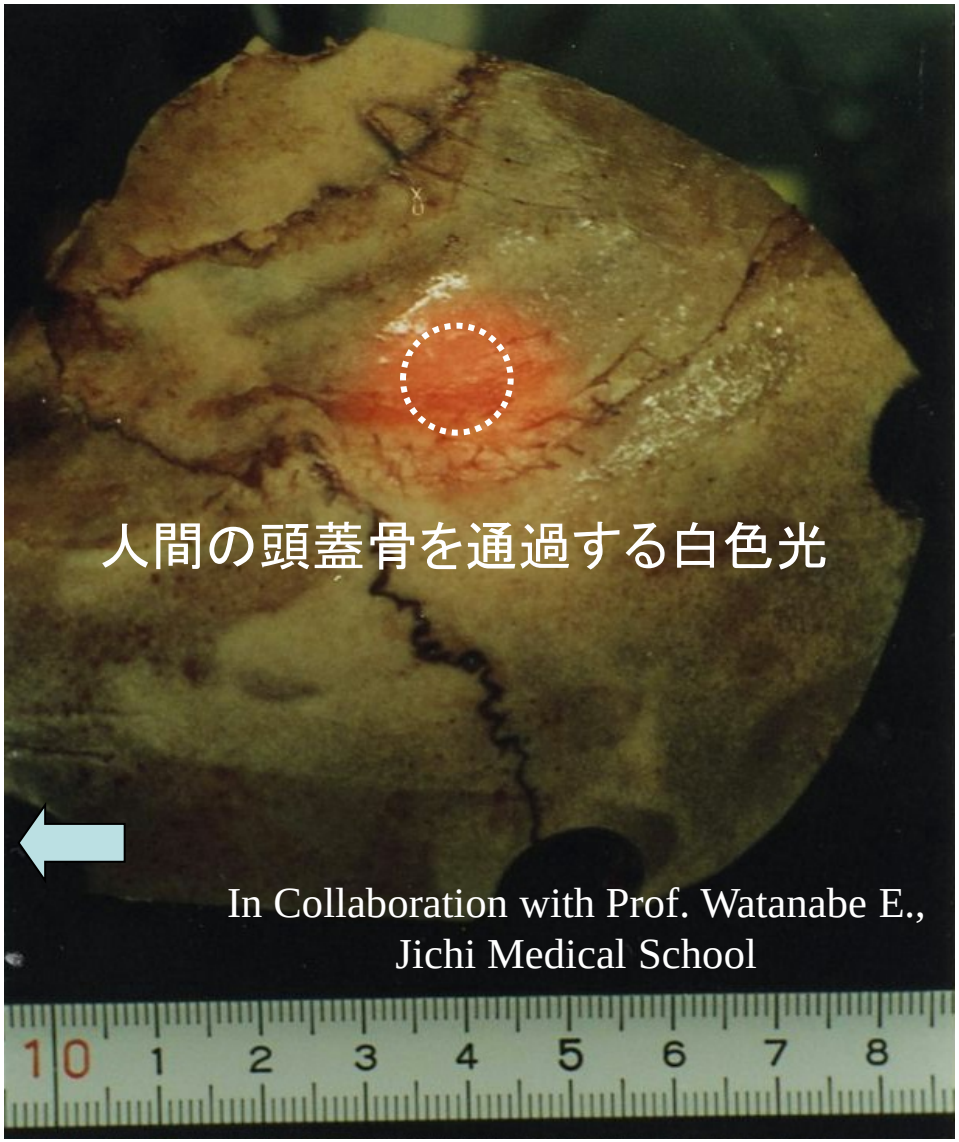
* Koizumi et al. (1999) Higher-Order Brain Function Analysis by Trans-Cranial Dynamic Near-Infrared Spectroscopy Imaging, *Journal of Biomedical Optics* 4(4): 403-413, p.404, Fig.2.

人体の光イメージング



静脈個人認証へ

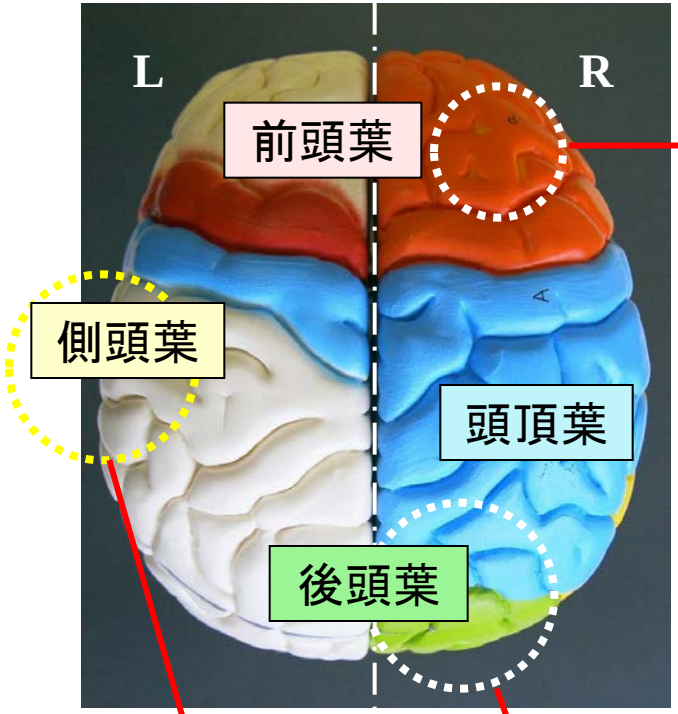
近赤外光トポグラフィへ

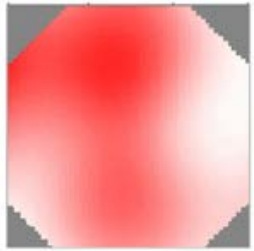


Koizumi H., *Chemistry & Industry* (1980)
（人間の生体分光イメージングの可能性）

Maki A. et al (Koizumi H.), *Patent filed* (1996)

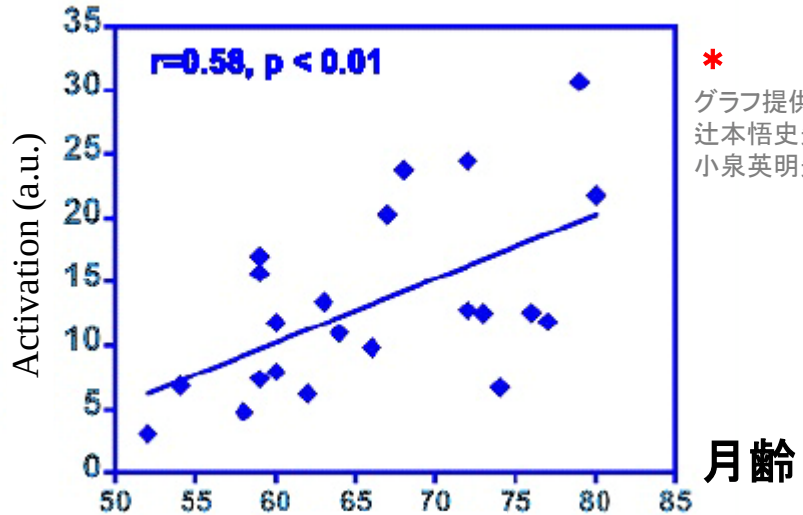
光トポグラフィによる幼児の脳機能描画（共同研究）





空間性作業記憶

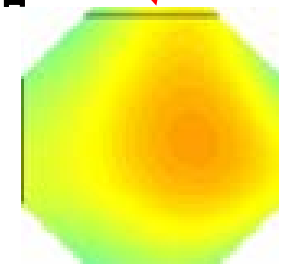
4~6 歳（幼稚園児）
(Tsujimoto S. et al, *Cerebral Cortex* (2004))

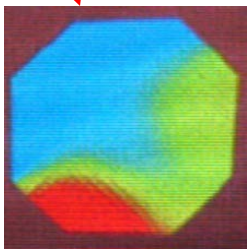


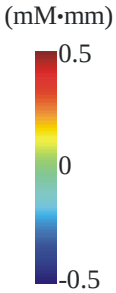
*
グラフ提供：
辻本悟史先生・
小泉英明先生

空間性作業記憶領野の発達
(Tsujimoto et al, Neuroscience (2005))

言語　視覚







生後1~5 日（新生児）
(Pena M. et al, *Proc Natl Acad Sci USA* (2003))

生後4ヶ月（乳幼児）
(Taga G. et al, *Proc Natl Acad Sci USA* (2003))

MIT Technology Review (Jan. 2003 issue)

Research that breaks the mold

Microsoft	**Quantum Computing**
GM	**Electricity Producing Vehicles**
Hitachi	**Advanced Brain-Imaging**
GE	**Nano Ceramics**

Advanced Brain-Imaging

"Hitachi Advanced Research Lab's brain-science applications program breaks the mold with research to improve education through brain-imaging"

Adapted from the original article in *MIT Technology Review* Jan. Issue (2003)

心と身体の対応

精神（形而上）

自己意識

意志

思考

決定

言語

認知

計画

（記憶）

（情動）

感覚

行動

One-to-One

Correspondence

＜心を観る装置の可能性＞

物質（形而下）

感覚器

脊髄

脳幹

感覚連合野

視床

一次感覚野

（大脳辺縁系）

高次連合野

運動連合野

一次運動野

（大脳基底核・小脳）

脳幹

脊髄

筋肉

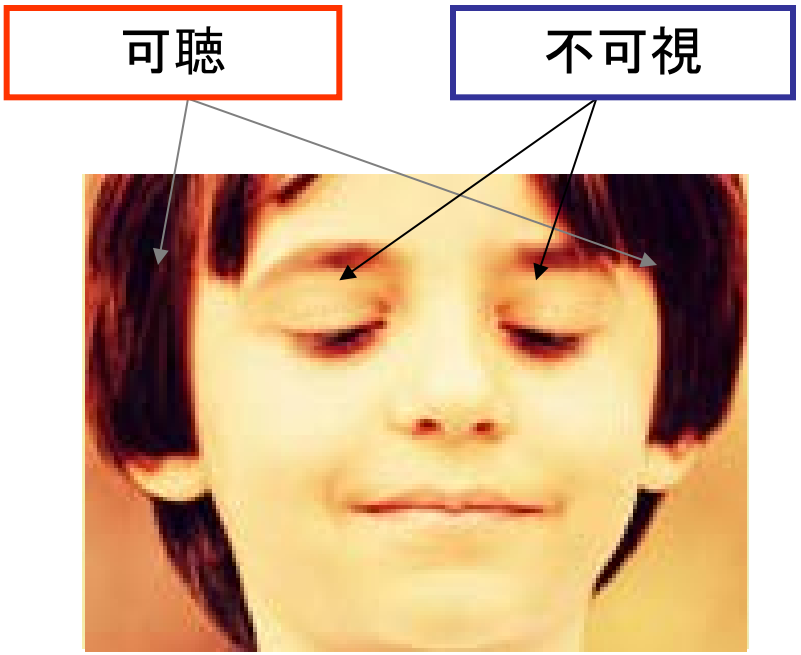
効果器

Suggested by Sasaki, K. at Mind-Brain Symposium at Univ. of Hokkaido (1997)

植物様状態の筋萎縮性側索硬化症（ALS）

ALS: 筋肉へ信号伝達する神経の疾病

1. 長期間の植物様状態下で、ALS患者さんに意識は存在するか？
2. もしも意識が存在するなら、ALS患者さんは何を考えているか？
3. もしも意識があるならば、意思疎通は可能か？

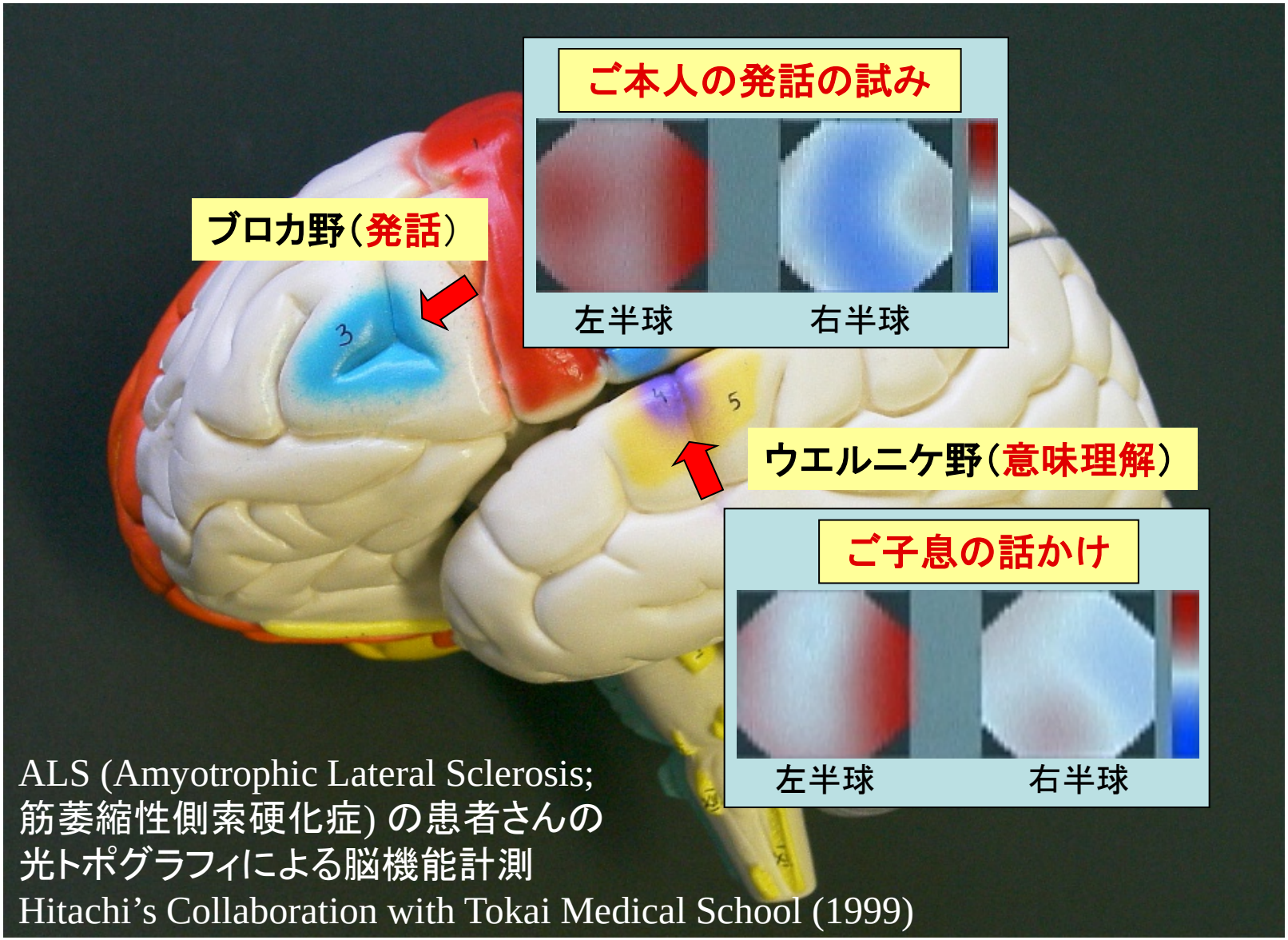


(For illustration, not an actual ALS patient)

Photo By Abdel Charaf
http://www.flickr.com/photos/abdelcharaf/7567172096/
CC BY 2.0

ALS: Amyotrophic Lateral Sclerosis

光トポグラフィによる植物状態様患者の意識確認

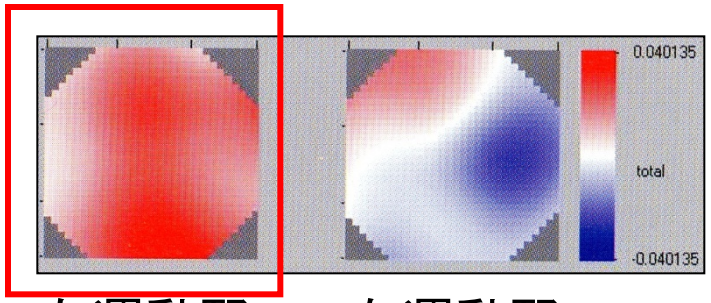


ALS (Amyotrophic Lateral Sclerosis;
筋萎縮性側索硬化症) の患者さんの
光トポグラフィによる脳機能計測
Hitachi's Collaboration with Tokai Medical School (1999)

脳機能計測による新たな意志伝達方法（BMI）

Yes

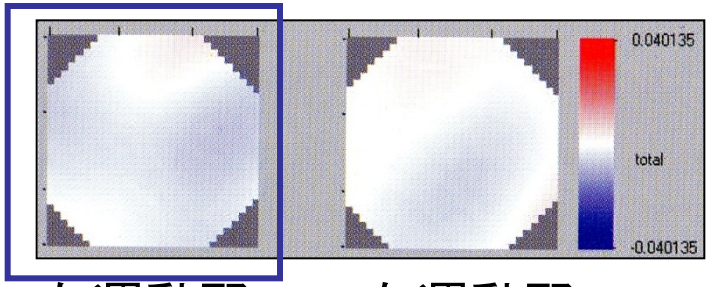
右手を握ることを想像



左運動野　右運動野

No

特に想像しない



左運動野　右運動野

大脳左右運動野の活性化を光トポグラフィで観察

２年以上家族とコミュニケーションが取れなかった筋萎縮性側索硬化症（ALS）患者との対話に成功

ALS: Amyotrophic Lateral Sclerosis
Hitachi’s Collaboration with Tokai Medical School (1999)

考えるだけで鉄道模型を制御

Optical Brain-Machine-Interface (O-BMI)

思考

↓

機能領野から賦活信号

↓

信号デコーダ

↓

電流制御

*
画像提供：
日立中央研究所

Utsugi K., Sagara K., et al. (Koizumi H.) (2006)

感動と身体性

感動するから涙がでる・・・

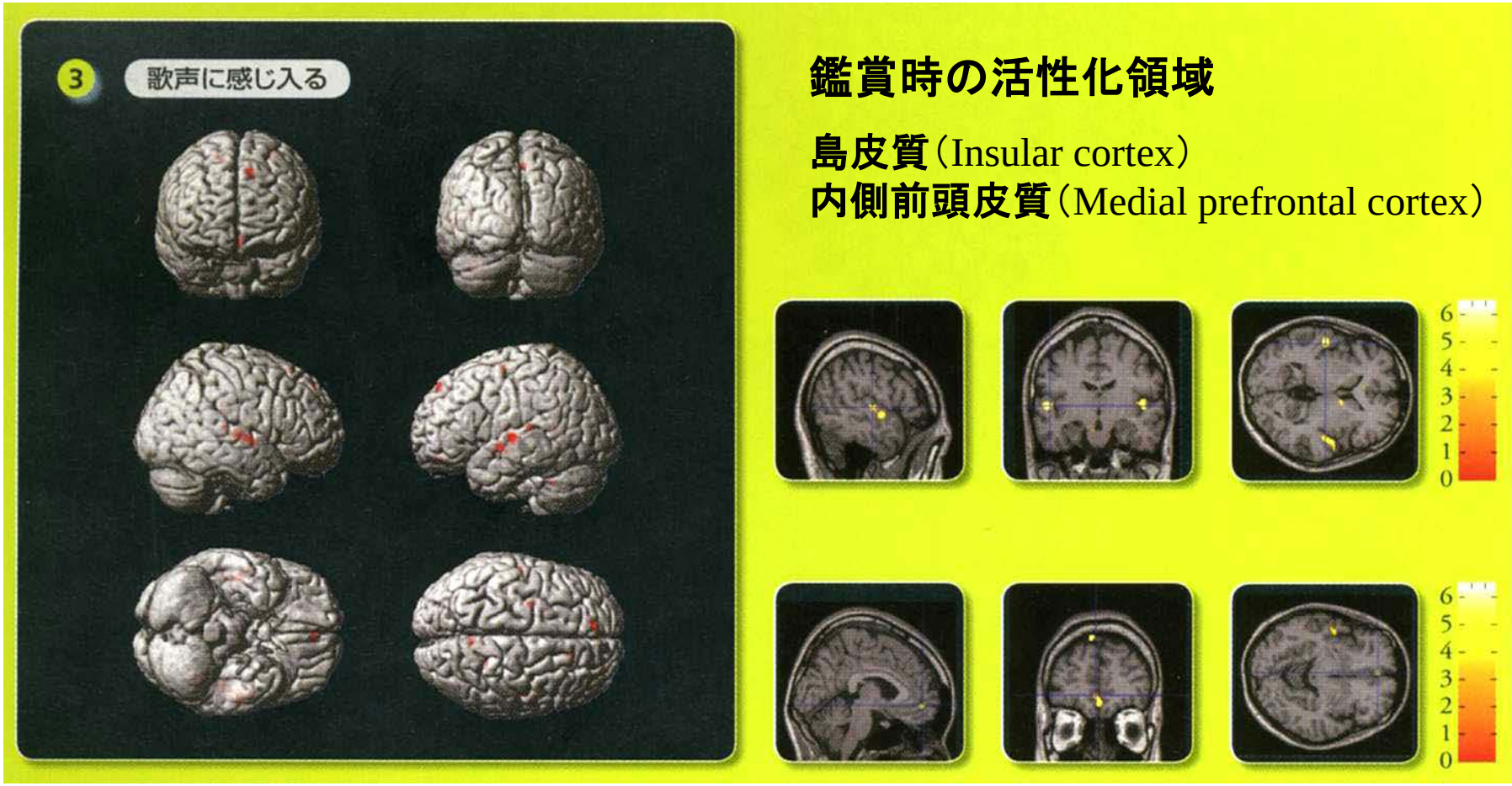
⬍

涙がでるから、より感動する・・・

“Here’s looking at you, kid.”
（君の瞳に乾杯！）

“We’ll always have Paris.”
（いつも心にパリの想い出がある・・・）

感動したときの脳活動

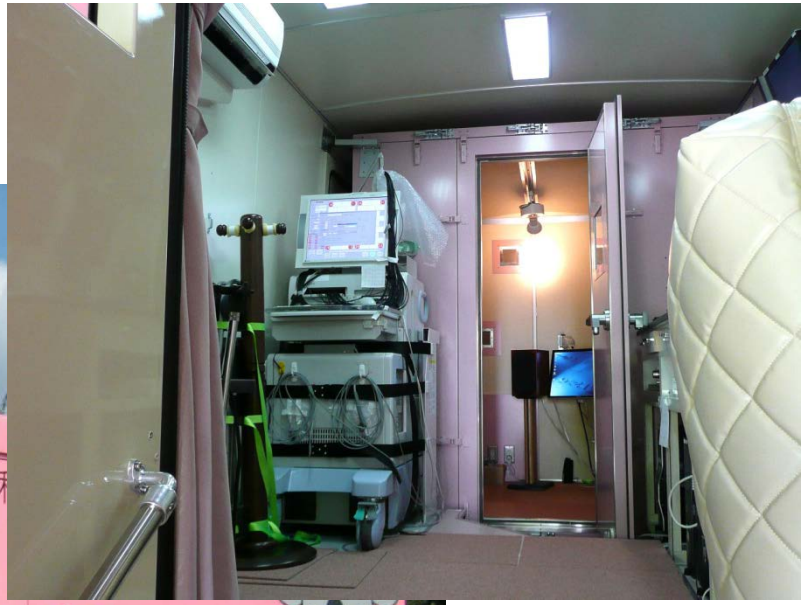


島皮質（Insular cortex）の活性化 → 身体全体からの統合情報処理

Courtesy of Turner R.

＊ 小泉英明編著『脳科学と芸術』工作舎、2008年、p.7 [3]

移動計測実験室
（NIR-OT・EEG搭載）



*
萩原裕子先生ご提供画像

*
萩原裕子先生ご提供画像

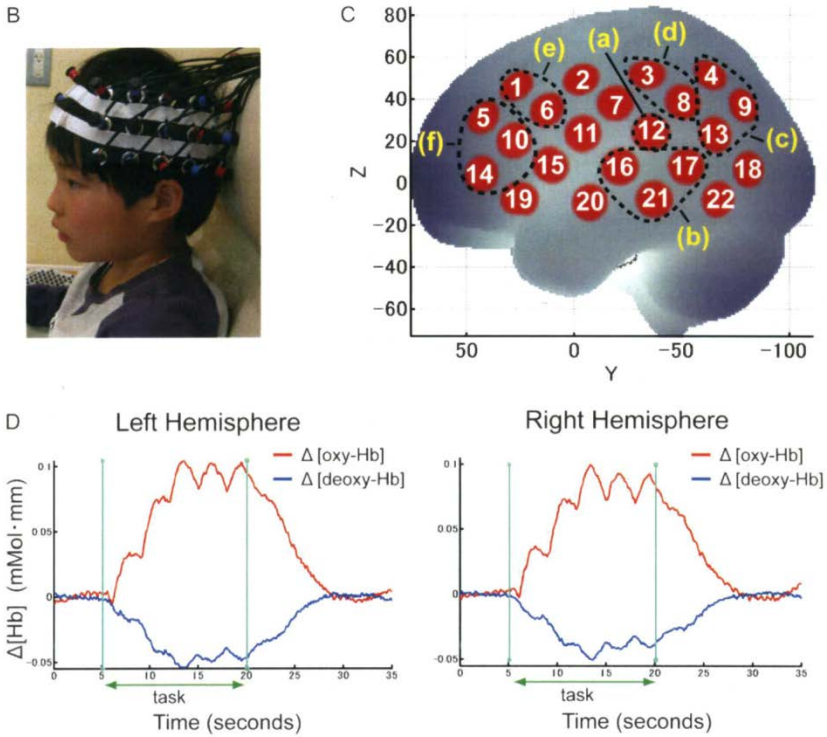
64 ch. near infrared optical topography (NIR-OT),　64 ch. Electroencephalography (EEG)

Hagiwara H., Tokyo Metropolitan University (JST/Brain-Science & Education (II))

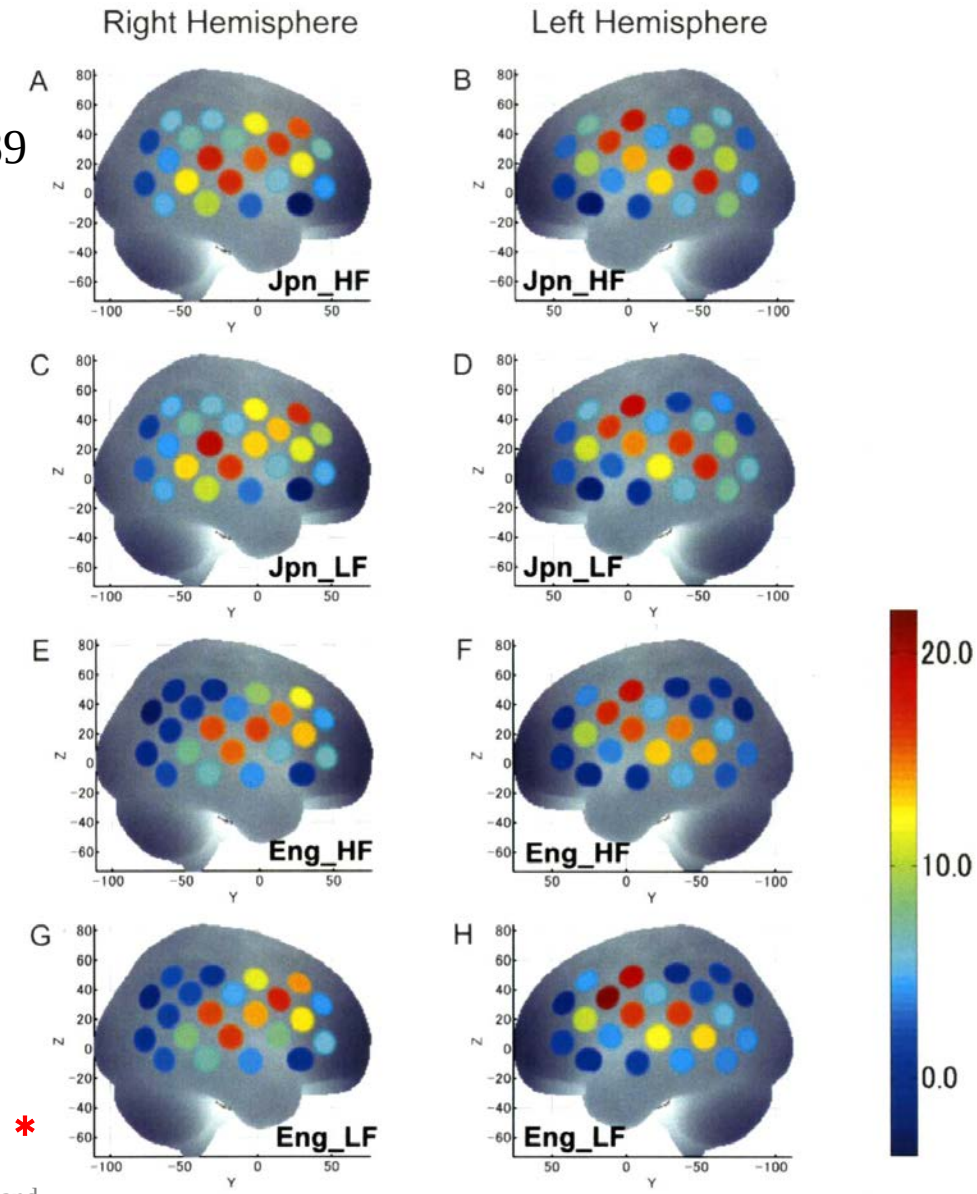
Cohort study on 2’nd language acquisition

Method: Cohort Study with NIR-OT
Subjects: 484 (248f., 236m.) children from
7 elementary schools aged 8.93±0.89
Task: High & low freq. words reproduction

Sugiura, L., Hagiwara, H. et al.,
Cerebral Cortex, (2011)



Ch.6 (BA44) for 392 subjects



*

*

Sugiura et al. (2011) Sound to Language: Different Cortical Processing for First and Second Languages in Elementary School Children as Revealed by a Large-Scale Study Using fNIRS, *Cerebral Cortex* 21(10): 2374-2393, p.2376, Fig.1, p.2382, Fig.4.

脳科学と人文・社会科学を結ぶウェアラブル光トポグラフィ

＜試作装置＞　計測点:22 、総重量:1 kg、同時計測:24名

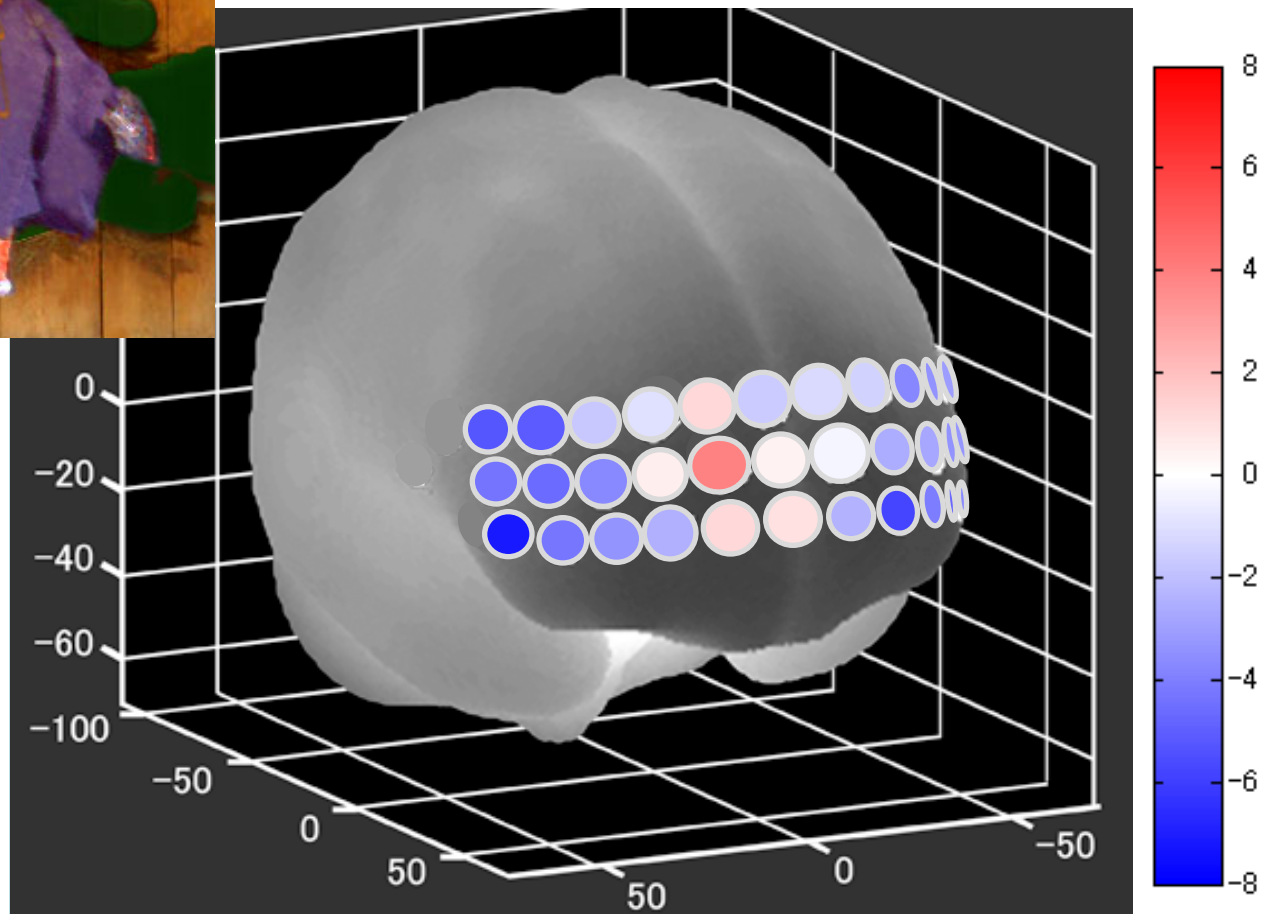
Atsumori H,, Kiguchi M., et al. Hitachi ARL (2007)

二者同時動作時の前頭前野活動パターン

Wikipedia より転載、Toto-tarou
http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:Noh_a.jpg
CC BY-SA 3.0

能楽：道成寺

＜乱拍子＞からヒントを得た実験



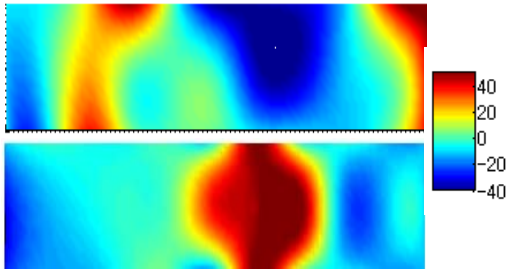
Funane, T., Koizumi, H. et al., J. Biomedical Opt. (2011).

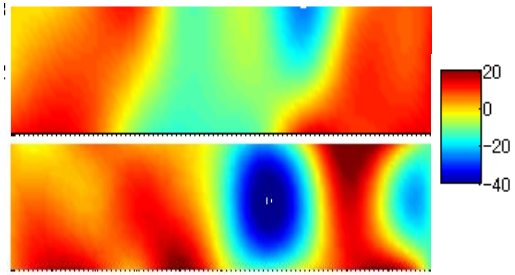
二者同時動作の時間差と脳活動パターン類似度

類似度が低いパターン例　　類似度が高いパターン例

被験者A

被験者B





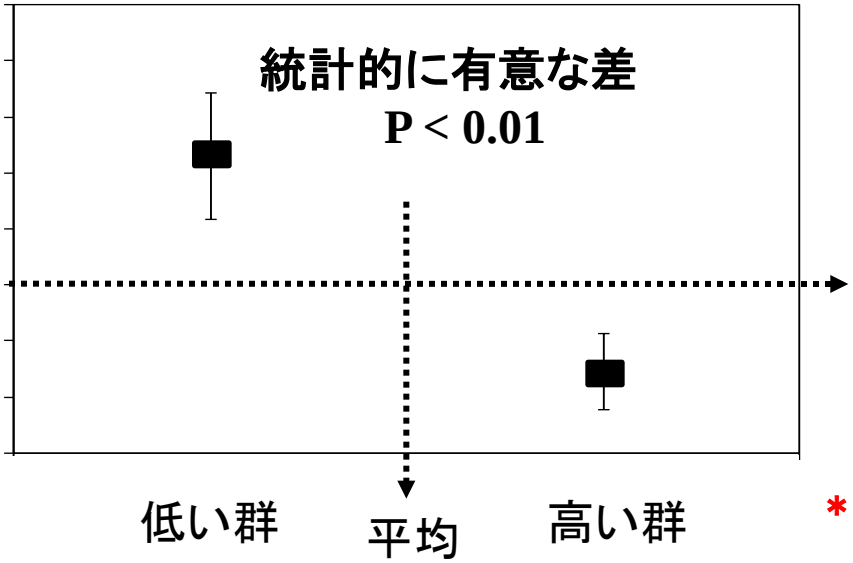
被験者C

被験者D

ボタンを押すタイミングの時間差

長

短



被験者組毎の平均

（計21試行）

脳活動パターン類似度

Funane, T., Koizumi, H. et al., J. Biomedical Opt. (2011).

* Tsukasa Funane, Masashi Kiguchi, Hirokazu Atsumori, Hiroki Sato, Kisou Kubota, Hideaki Koizumi (2011) Synchronous activity of two people's prefrontal cortices during a cooperative task measured by simultaneous near-infrared spectroscopy, *Journal of Biomedical Optics* 16(7): p.7, Fig.10.

「すくすくコホート」での倫理最優先の方針

倫理的・法的・社会的見地から研究可能範囲を指定・審査・公表

期間中の倫理的事故無し

倫理審査委員会

倫理学・法学・哲学・生命科学・脳科学・評論

（有識者委員会）

世界的な潮流へ

新分野の萌芽

申請

各研究グループ

個別研究課題は各研究施設の倫理委員会認可が前提

脳神経倫理研究グループ

アドバイザリーボード

計画型研究に適用

脳科学と倫理
Brain-Science & Ethics

包含する二つの異なる概念

(A) 脳科学の倫理
(Ethics of Brain-Science (Neuro-ethics))
脳科学自体の倫理を探求
（マインドコントロール・脳への薬剤・心のプライヴァシー）

(B) 倫理の脳科学
(Brain-Science of Ethic)
脳科学によって倫理自体の根源を探求

Private communication with Rothschild E. (1995).
Koizumi H, Bioethics in Brain Research, *Seimei Rinri (Bio-ethics)*, (2006).
Koizumi H, The Concept of “Brain-Science & Ethics”, *J Seizon & Life Sci* (2007).
Aoki R, Funane T, Koizumi H, *MBE* (2010).

朝日新聞7月11日夕刊（2005）

（2006年春以降の大学入試で3校が使用）

Etymology of Science and Engineering

Science — Originated from the Latin *scientia* (“knowledge”)

- **sci** — Word stem
  - *Scire* means “understand” and its original meaning is “to separate, distinguish.” The Latin *scindere* means “to cut, divide.” The Greek *skei- (skhizein)* means “to split.”
- **-ence** — Suffix
  - Same meaning as *-ent*, which signifies an action, a characteristic and a state, or *–ing* (from an ancient Germanic language), which makes a gerund.

Ethics ← Necessity

Engineering — From Latin *ingenium* (ability)

- **engineer** — Noun, verb
  - **engine** — Production (output by inputting material or information)
    - **en-** — Prefix
    - **gine** — Word stem
      - Meaning intrinsic abilities, originating from the Latin *genus* (Greek *genos*). The original meaning of *Gen* is “to give birth.”
  - **-er** — Suffix (person)
- **-ing** — Suffix (convert a verb to the gerund)

(Compiled from four etymological dictionaries.)

Ettore Majorana Foundation
Center for Scientific Culture

INTERNATIONAL SCHOOL ON MIND, BRAIN AND EDUCATION
Directors: A.M. BATTRO – K.W. FISCHER

4th Course: ***Educational, Neurosciences and Ethics***

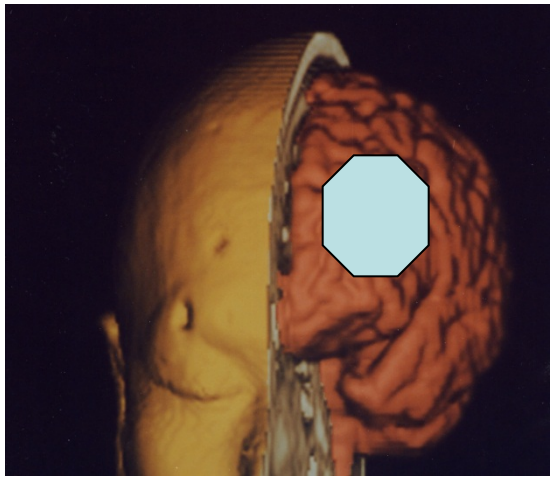
Directors: A.M. BATTRO – B. DELLA CHIESA – H. KOIZUMI

1 – 5 August 2009

科学と人文学を架橋･融合させる試み

文明による脳の廃用性退行

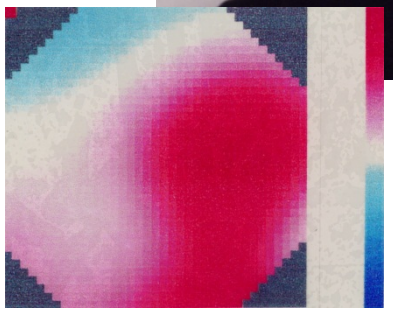
脳に優しいメディア・情報技術の開発



作業記憶領野
（前頭前野）

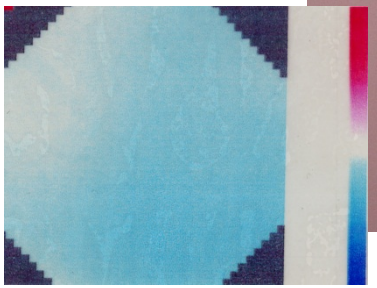
簡単な暗算
100-7=93 -7=86 -7=79

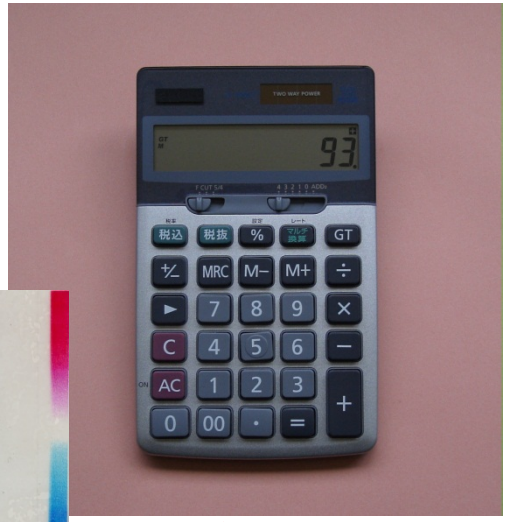
高い



作業記憶領野の活性

低い





計算機使用

Koizumi H, *科学*, 2000

エンジニアリングとサイエンスの相互作用

エンジニアリング ⇔ サイエンス

望遠鏡 → **顕微鏡** → **精神鏡**

遠距離物体
の可視化

* NASA

Hubble Space Telescope

Courtesy of NASA

天文学
物理学

微小物体
の可視化

* 画像提供：日立中央研究所

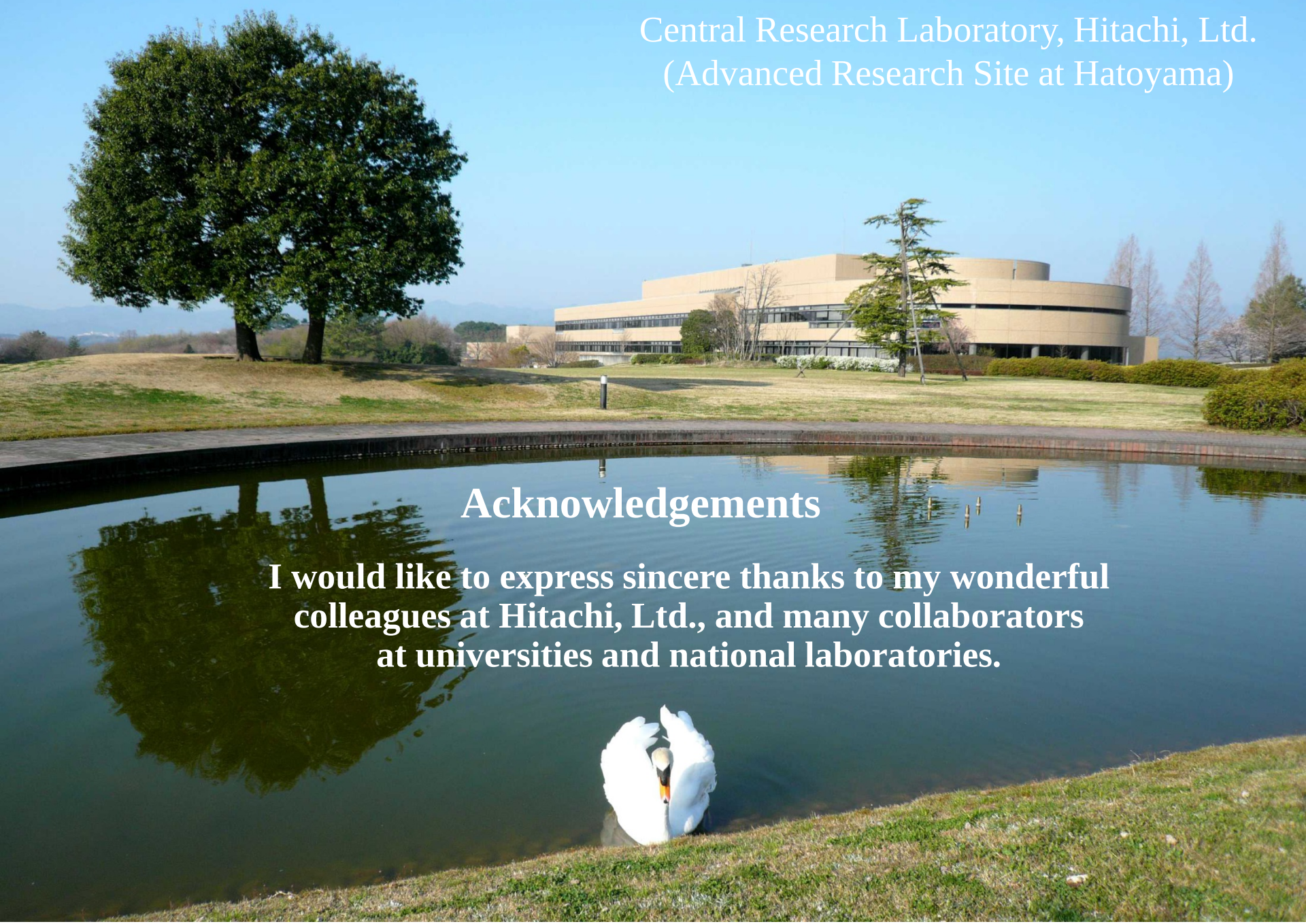
1MeV **FE Electron Microscope**
developed by A. Tonomura's
team at Hitachi CRL/JST

生物学
医学
物性科学

精神（心の働き）
の可視化

Wearable OT developed by
H. Koizumi's team
at Hitachi CRL

神経科学
認知科学
精神科学



Acknowledgements

I would like to express sincere thanks to my wonderful colleagues at Hitachi, Ltd., and many collaborators at universities and national laboratories.