


## ■ 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 UTokyo OCW 学術俯瞰講義  
Copyright 2015, 神谷之康

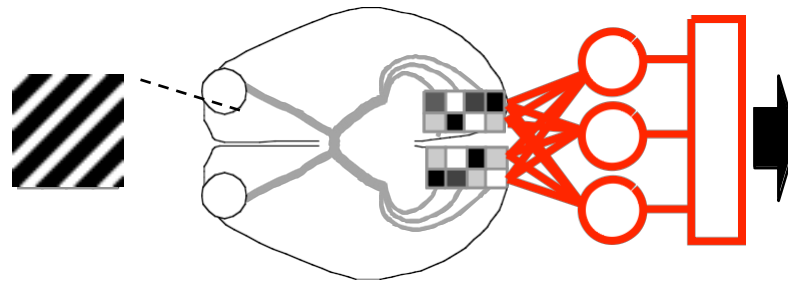
The University of Tokyo / UTokyo OCW The Global Focus on Knowledge Lecture Series  
Copyright 2015, Yukiyasu Kamitani

ブレイン・デコーディングと  
ブレイン-マシン・インターフェース  
第二回

京都大学 / **ATR**脳情報研究所  
神谷之康

# 第一回のまとめ

1. 脳活動 = 心のコード ( 暗号 ) とみなし、機械学習による脳活動パターンの解読 ( デコーディング )



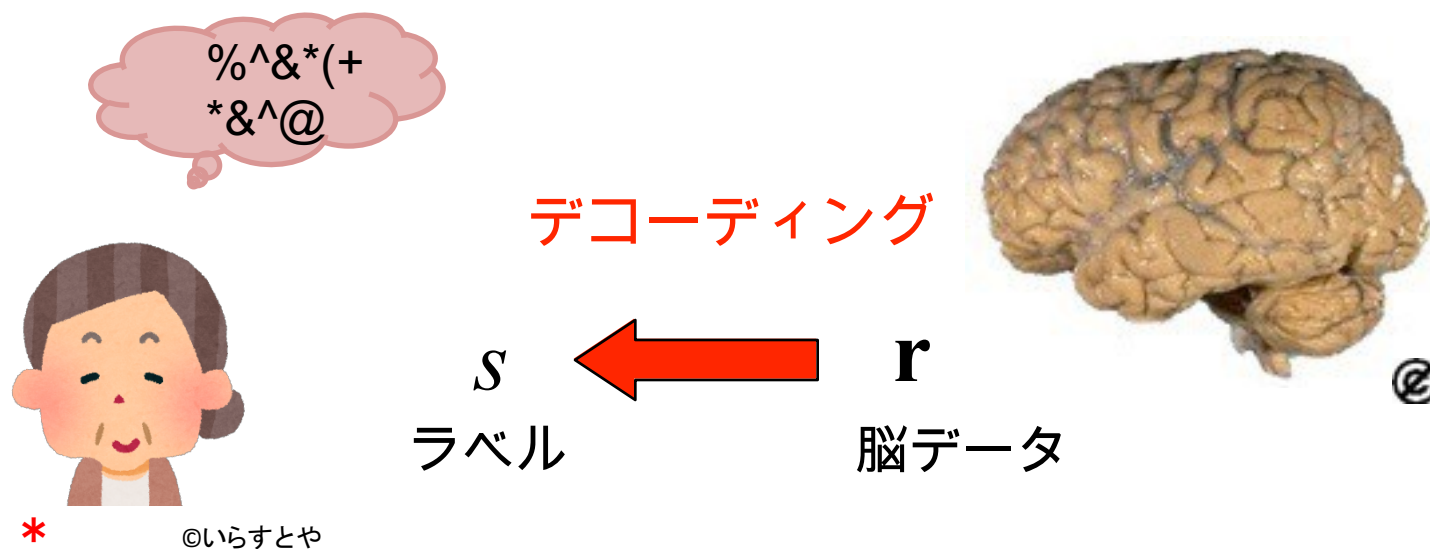
2. デコーダの般化によるマインド・リーディング

3. 多様な出力をもつデコーダの構築：視覚像再構成



# コンピュータに学習させよう！ 機械学習によるデコーディング

(Kamitani and Tong, *Nat Neurosci* 2005)



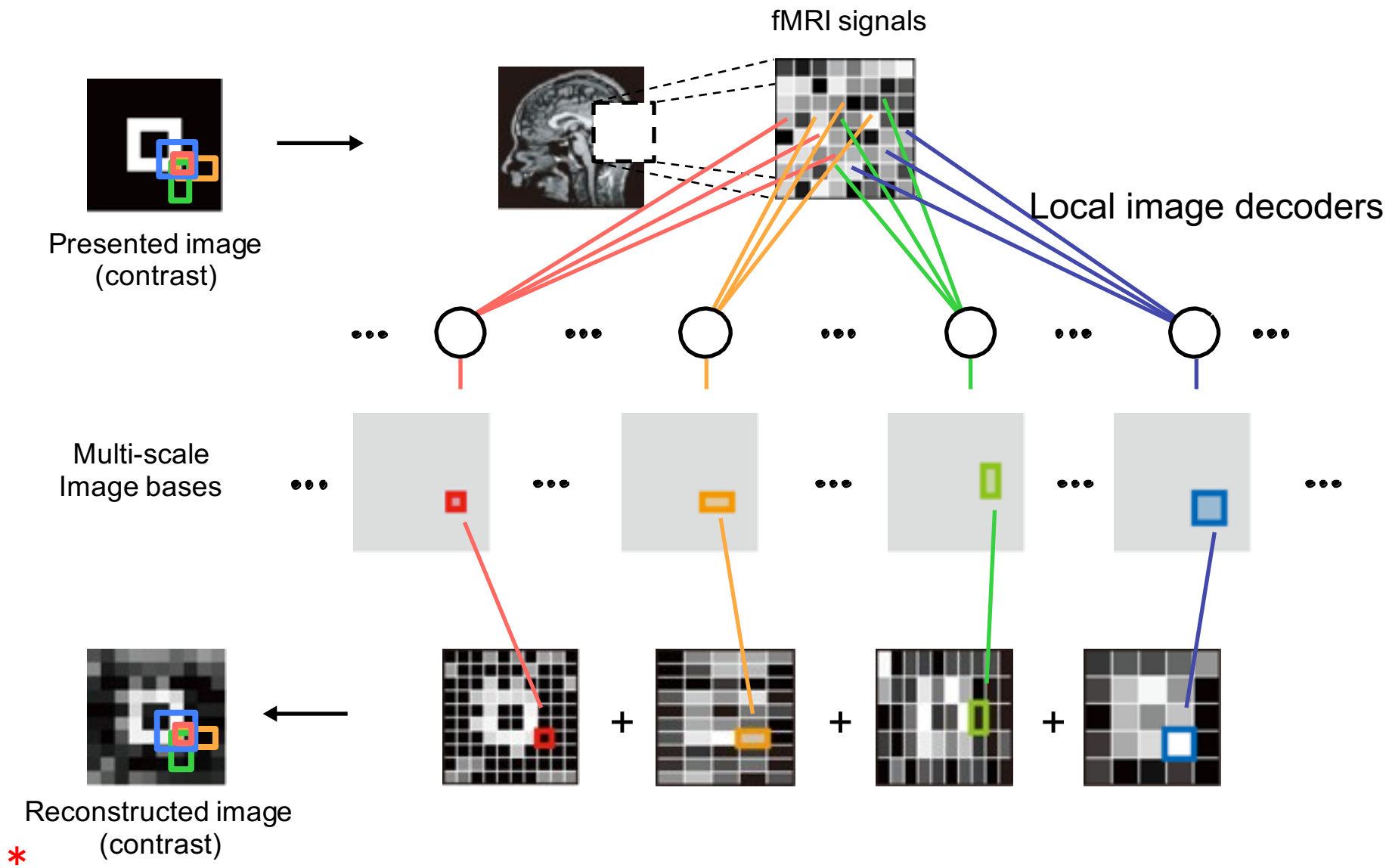
1. 脳活動を計測し「ラベル」をつける
2. 脳活動からラベルを予測する「デコーダ」を構築する
3. そのモデルが新たなに与えられる脳活動のラベルを正確に予測できるかを評価する

著作権等の都合により、  
ここに挿入されていた映像を削除しました

ATR脳情報研究所において研究された脳の  
視覚像再構成を報じた海外のニュース動画  
(日本新唐人テレビ、年月日不明)

[https://www.youtube.com/watch?v=MEIU0U  
W0V3Q](https://www.youtube.com/watch?v=MEIU0UW0V3Q)

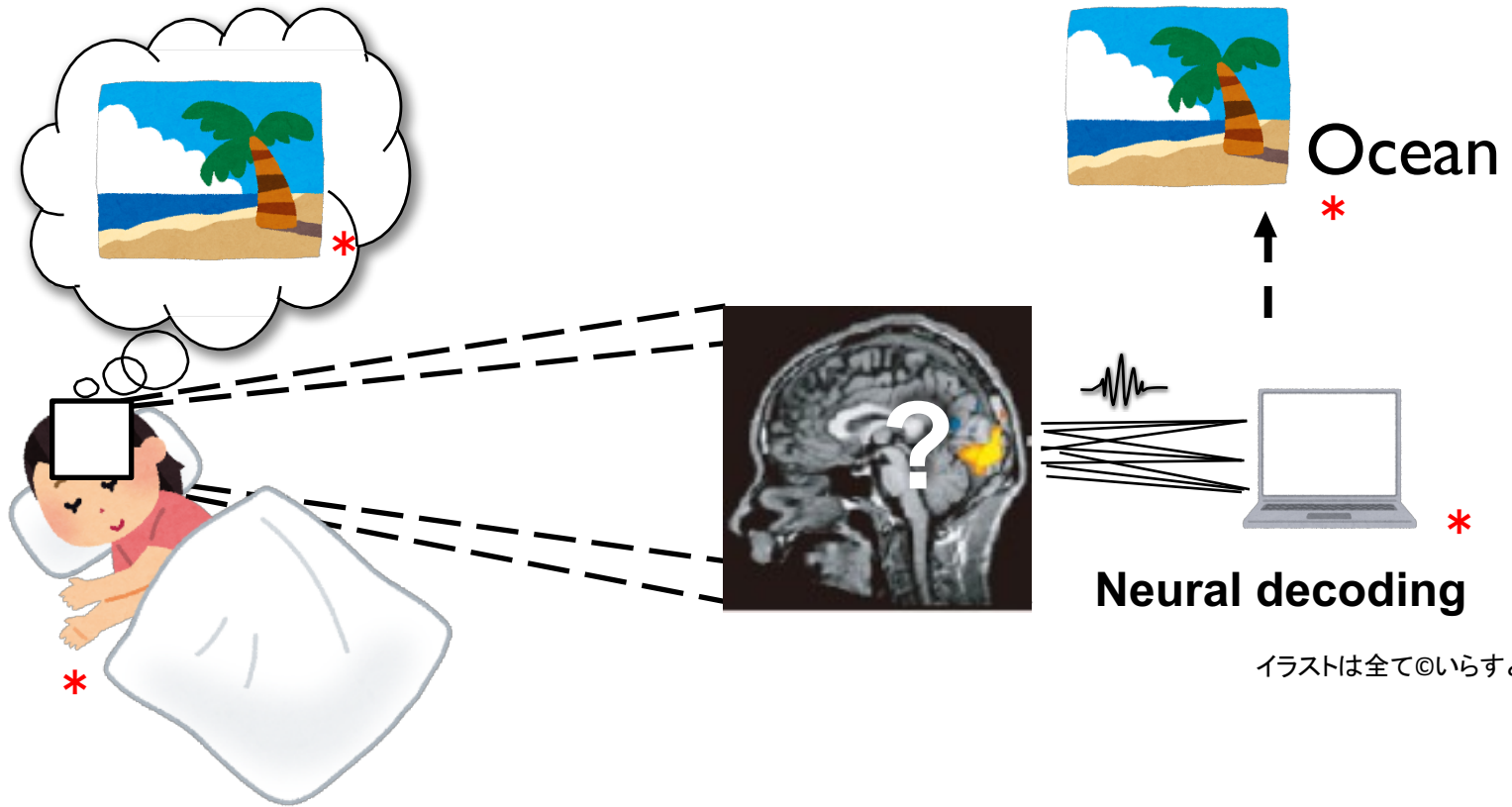
# 視覚像再構成の方法



著作権等の都合により、  
ここに挿入されていた画像を削除しました

テレビ画面のキャプチャ  
「おはよう朝日です」(放送日不明)

# 夢の視覚的な内容をデコードできるか？



イラストは全て©いらすとや

(Horikawa, Miyawaki, Tamaki, Kamitani, *Science* 2013)

# 夢を見ている時の脳活動

著作権等の都合により、  
ここに挿入されていた画像を削除しました

## 脳活動の画像

Miyauchi et al. (2009) Human brain activity time-locked to rapid eye movements during REM sleep, *Experimental Brain Research* 192 (4): 657-667, p. 661 Fig.2(subject 1).

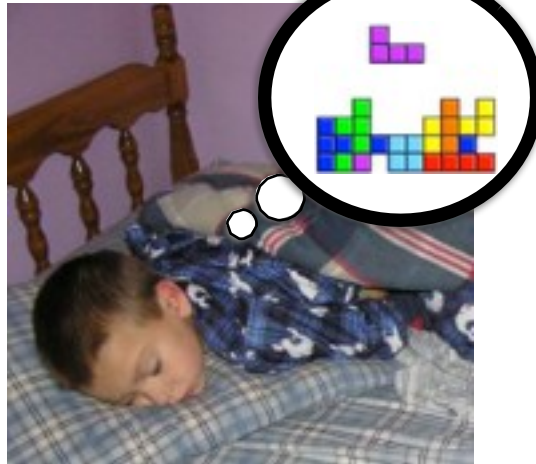
<http://link.springer.com/article/10.1007/s00221-008-1579-2>  
doi:10.1007/s00221-008-1579-2

fMRI activity during REM, triggered by eye movements  
(Miyauchi et al., *Exp Brain Res* 2008)

Movement in lucid dreaming elicit activation in the sensory motor cortex (Dresler et al., 2011)

# 夢の内容をコントロールできるか？

Tetrix effect  
(Stickgold et al. 2000)



(Members involved in early experiments: Y. Onuki, Y. Miyawaki, T. Beck, Y. Fujiwara, G. Pandey, and T. Kubo)

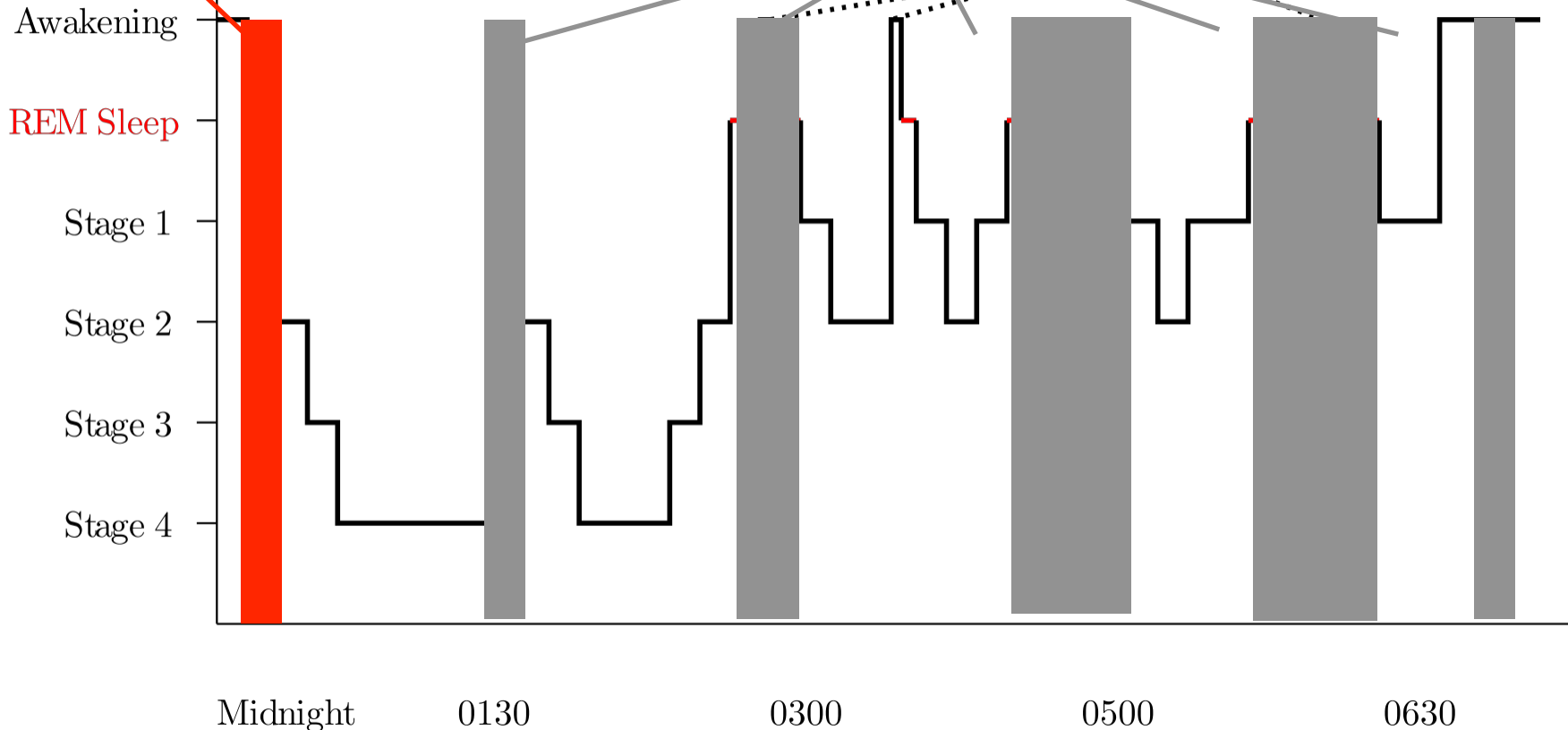
いつ夢を見る？

Sleep-onset  
(Hypnagogic) period

Hypnogram

REM period

Brief Awakening



# Protocols of the sleep experiment

## 夢報告の例 (1)

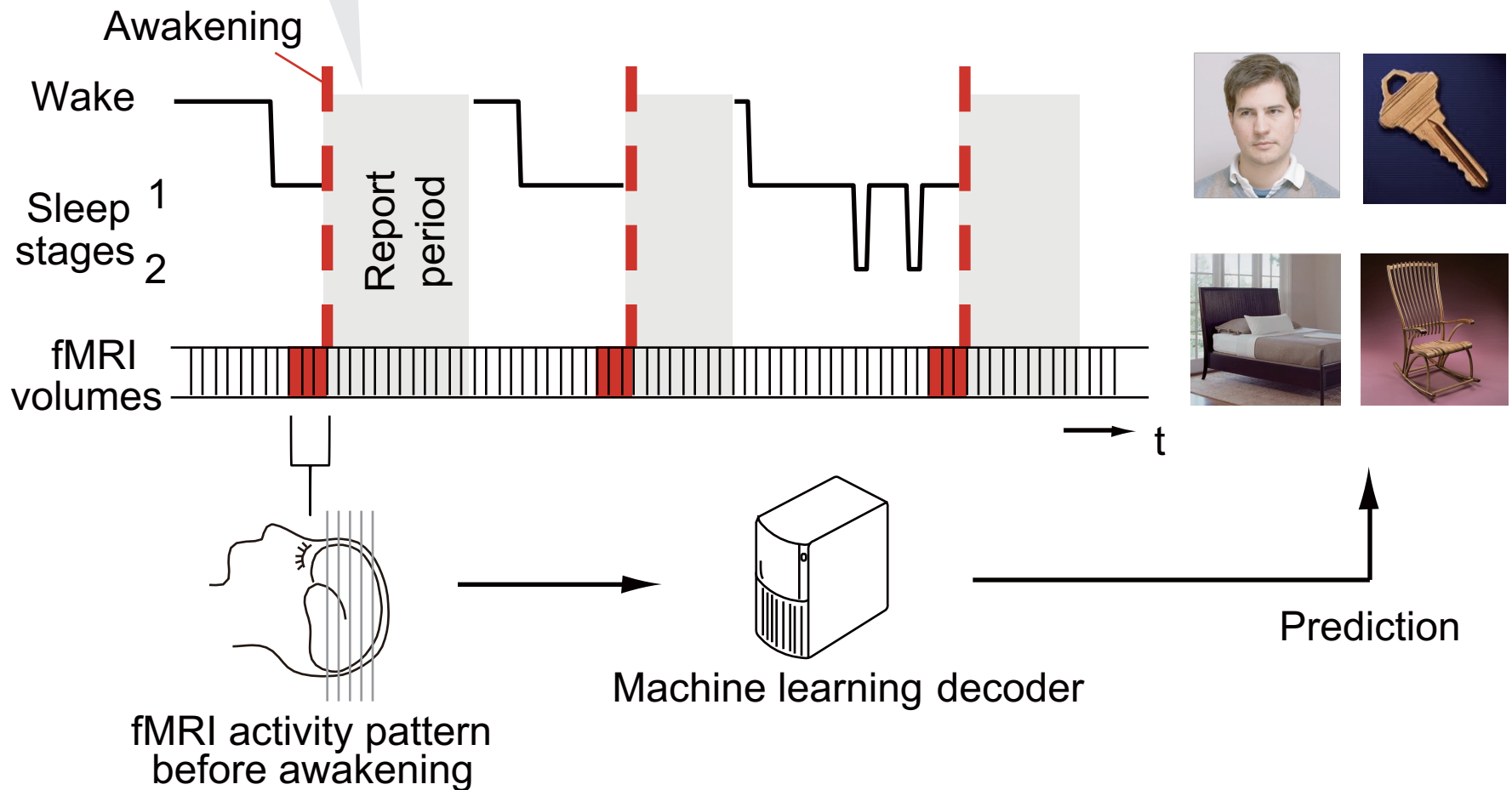


## 夢報告の例 (2)



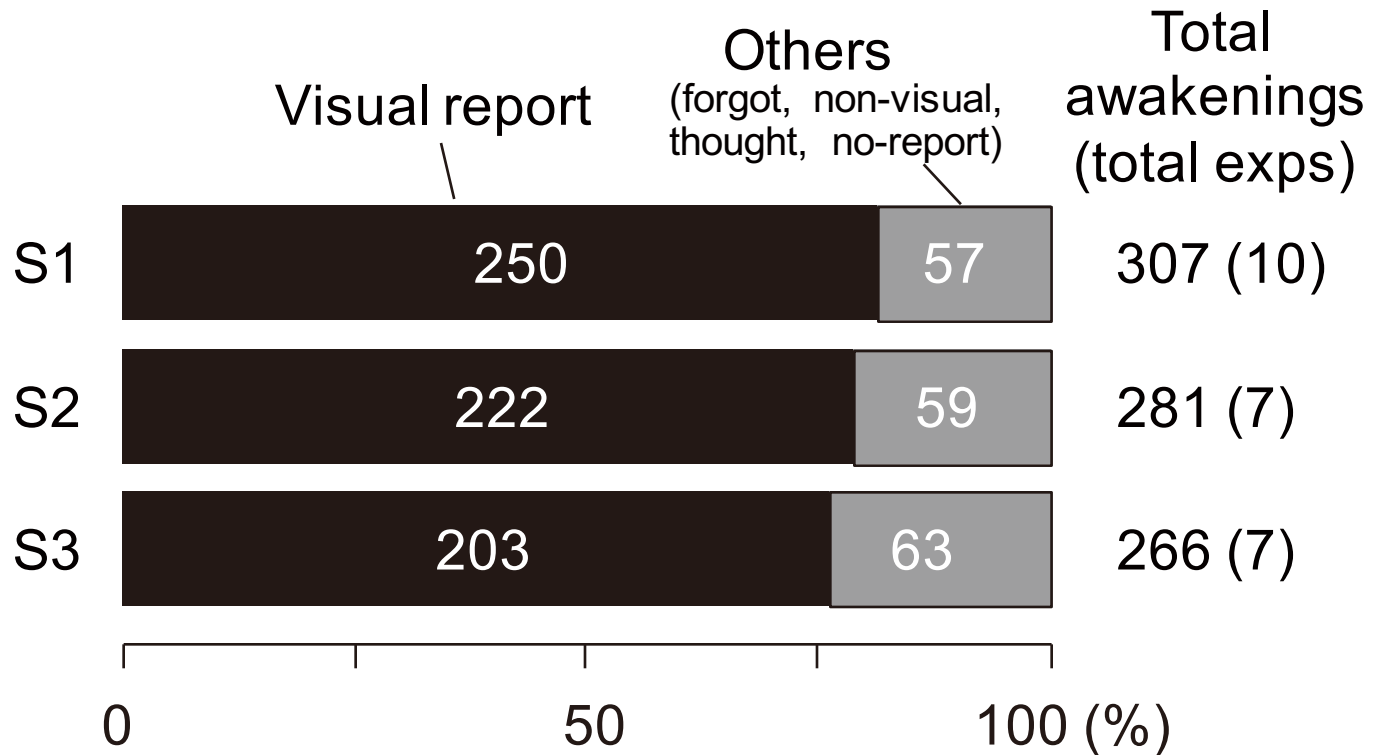
# 実験の概要

Yes, well, I saw a *person*. Yes. What it was... It was something like a scene that I hid a *key* in a place between a *chair* and a *bed* and *someone* took it.



\* From Horikawa et al. (2013) Neural Decoding of Visual Imagery During Sleep, Science 340 (6132): 639-642, p. 640 Fig. 1A.  
Reprinted with permission from AAAS.  
<http://science.sciencemag.org/content/340/6132/639.full>

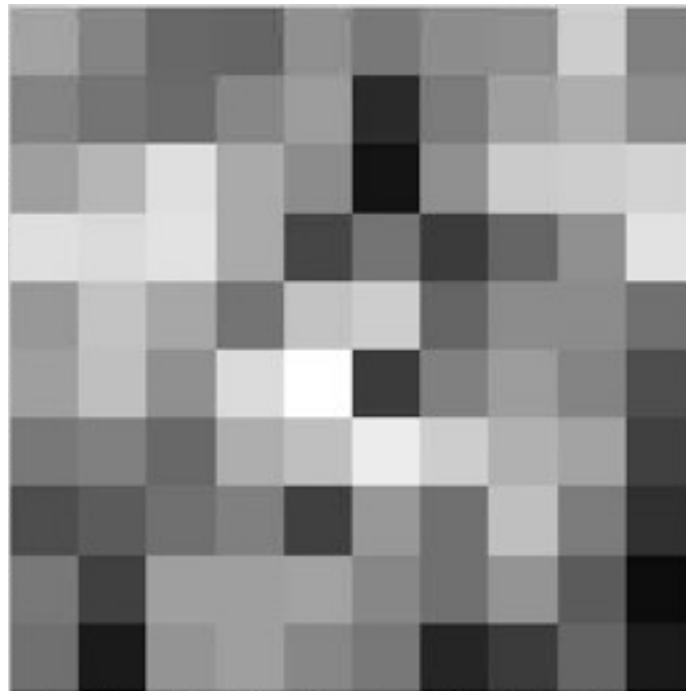
# 夢報告



- Repeated exps until > 200 visual reports in each subject
- Visual report in > 75% of total awakenings
- ~ 8 visual reports / hour

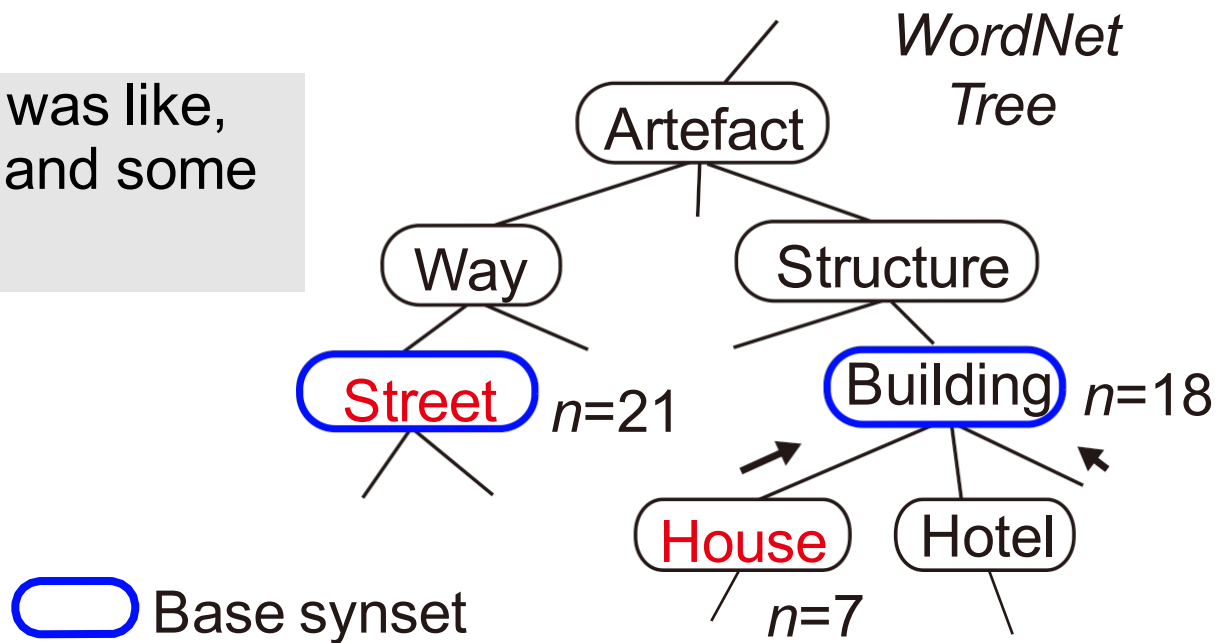
# 夢の画像再構成？

*“I saw Taylor was talking to me...”*



# 言語データベースを用いた意味情報の抽出

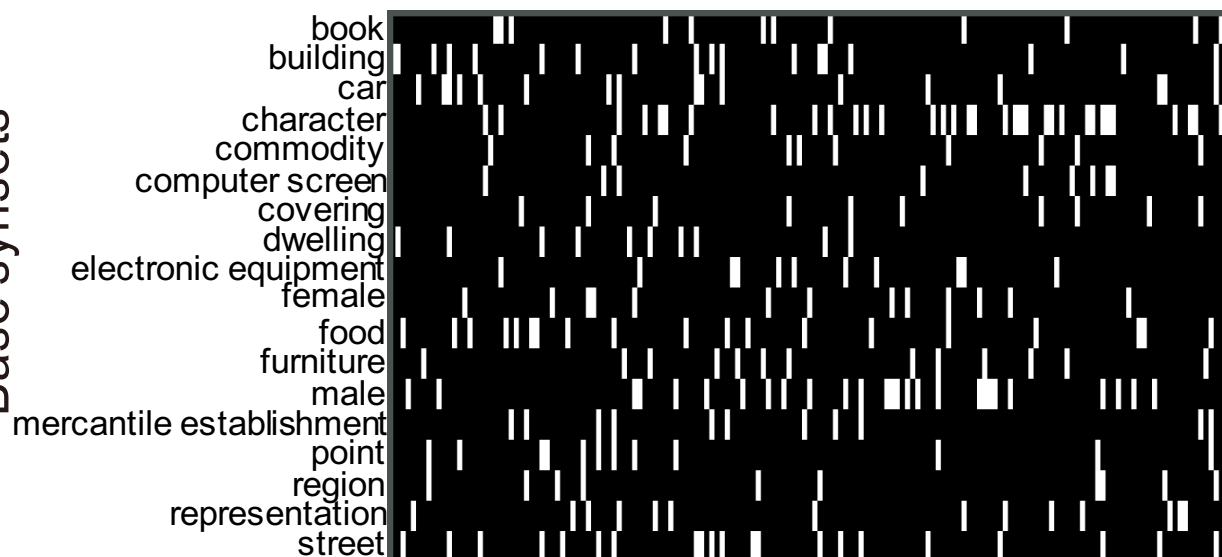
Um, what I saw now was like,  
a place with a **street** and some  
**houses** around it...



# 夢の意味ラベル

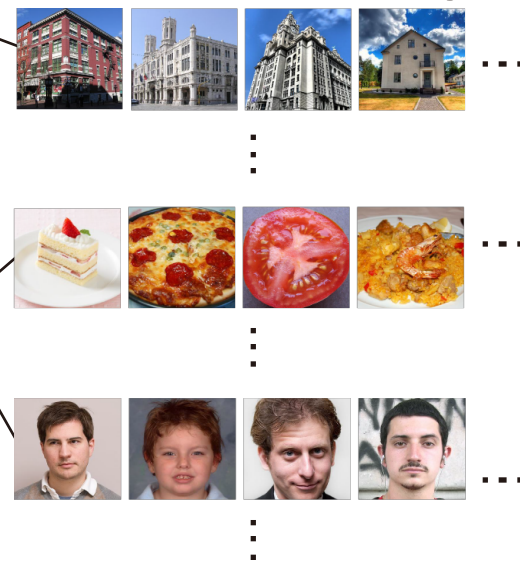
S2

Base synsets



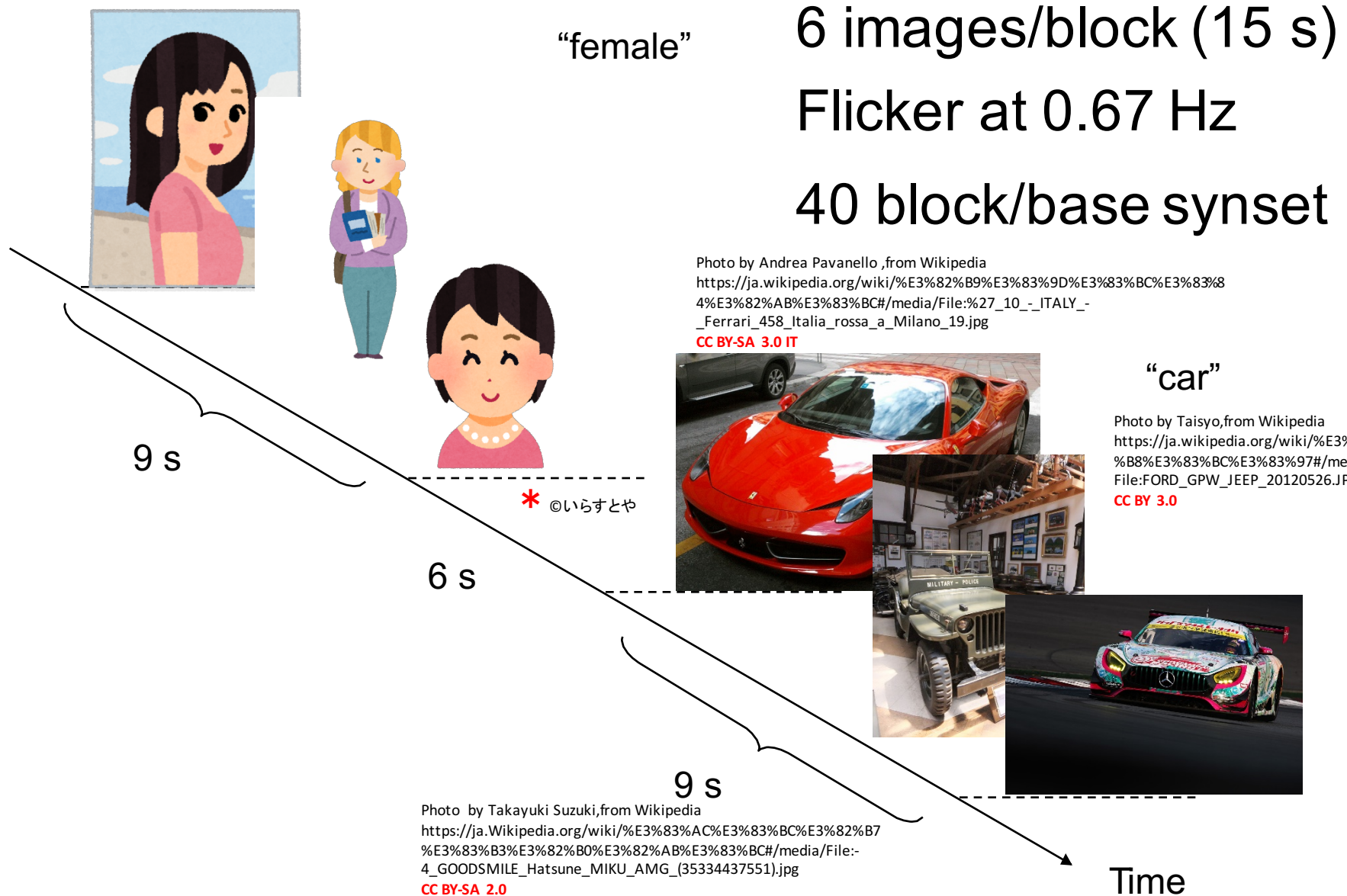
Dream index

Web images  
for decoder training



(*WordNet and ImageNet*)

# 刺激画像に対する脳活動パターン計測



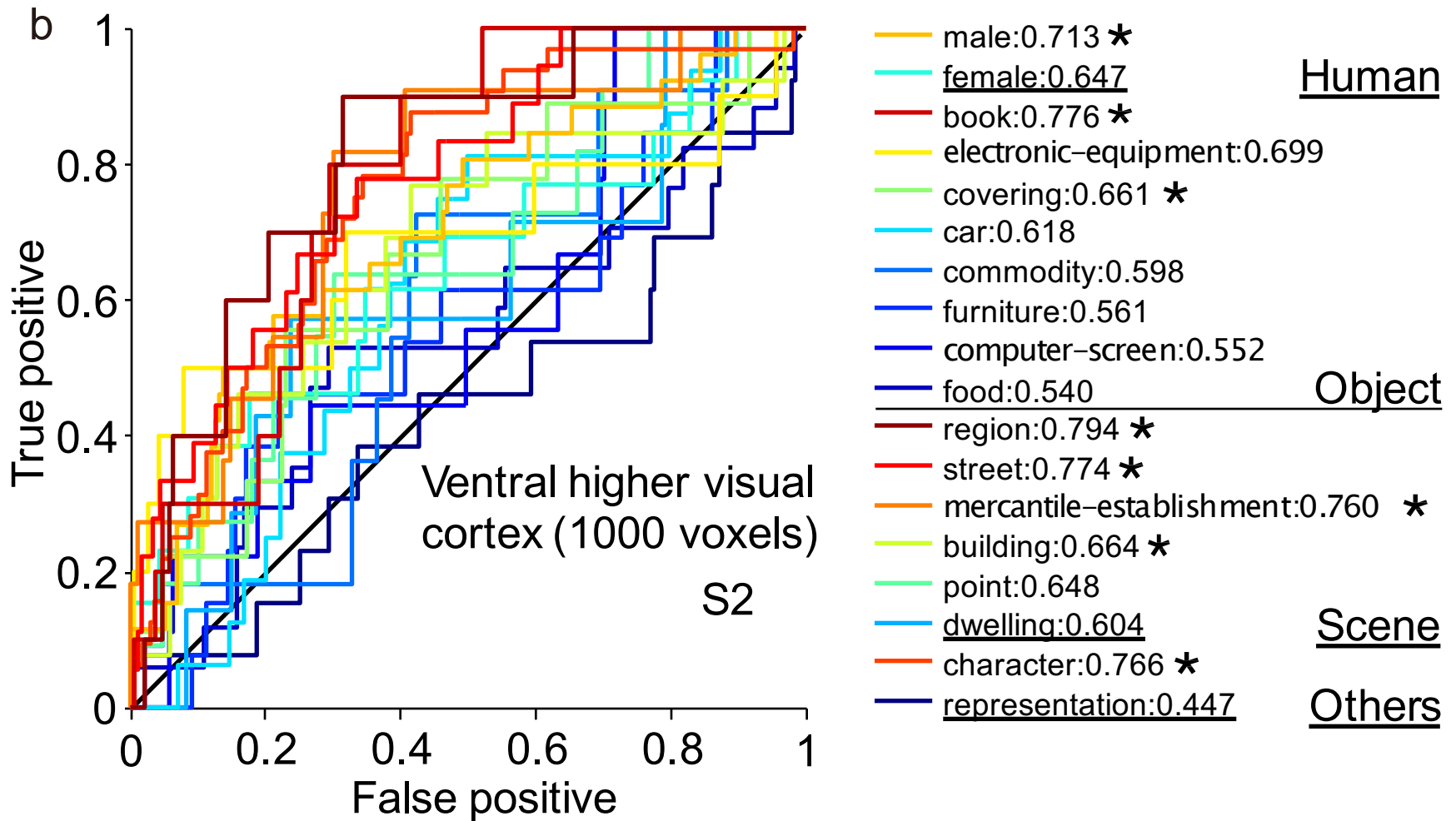
# 夢に現れる視覚対象のデコーディング



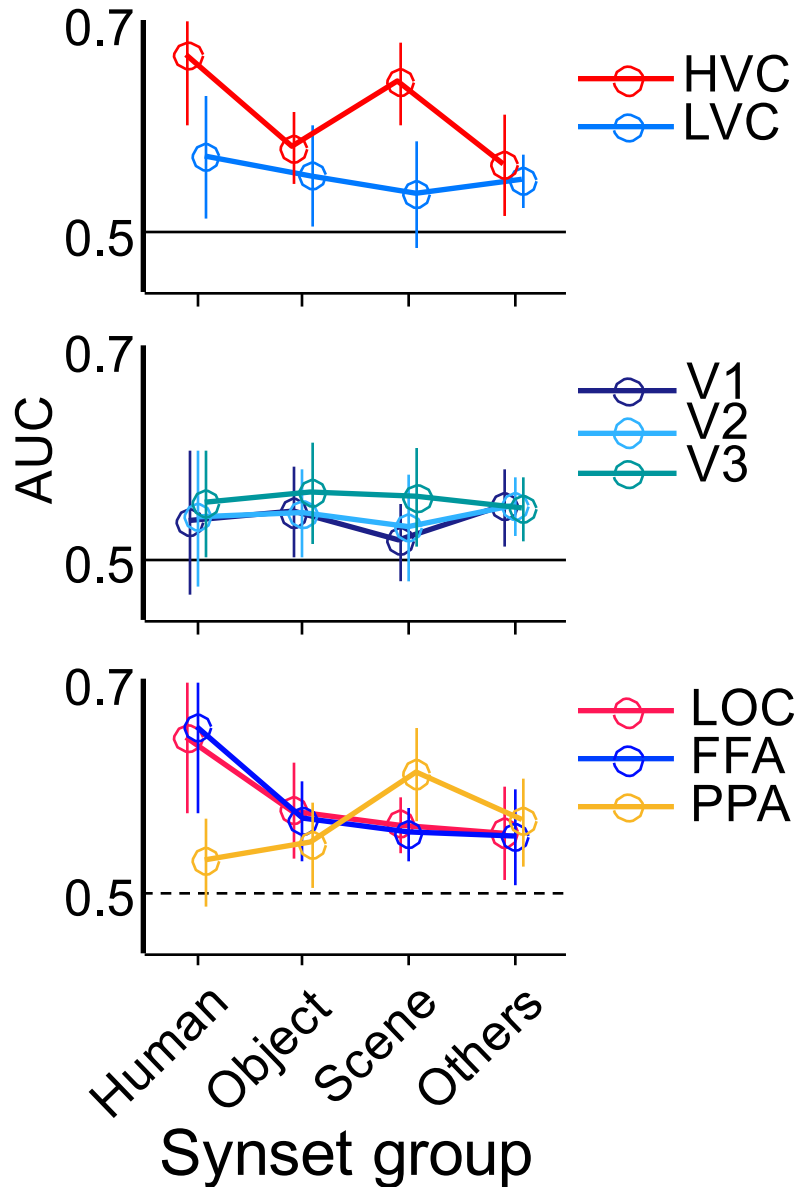
\*

From Horikawa et al. (2013) Neural Decoding of Visual Imagery During Sleep, Science 340 (6132): 639-642, p. p. 641 Fig. 4Multilabel decodingA. Reprinted with permission from AAAS."  
<http://science.sciencemag.org/content/340/6132/639.full>

# ROC解析



# 脳領域ごとの予測成績

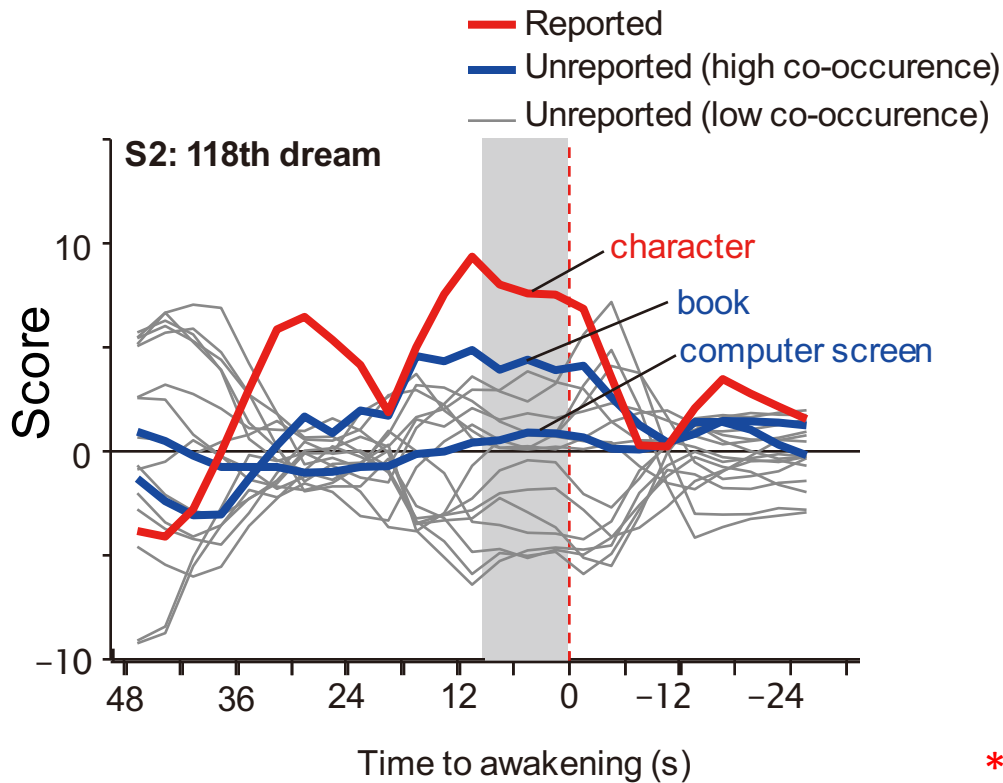


Higher visual cortex  
>  
Lower visual cortex

No category specificity  
in lower visual areas

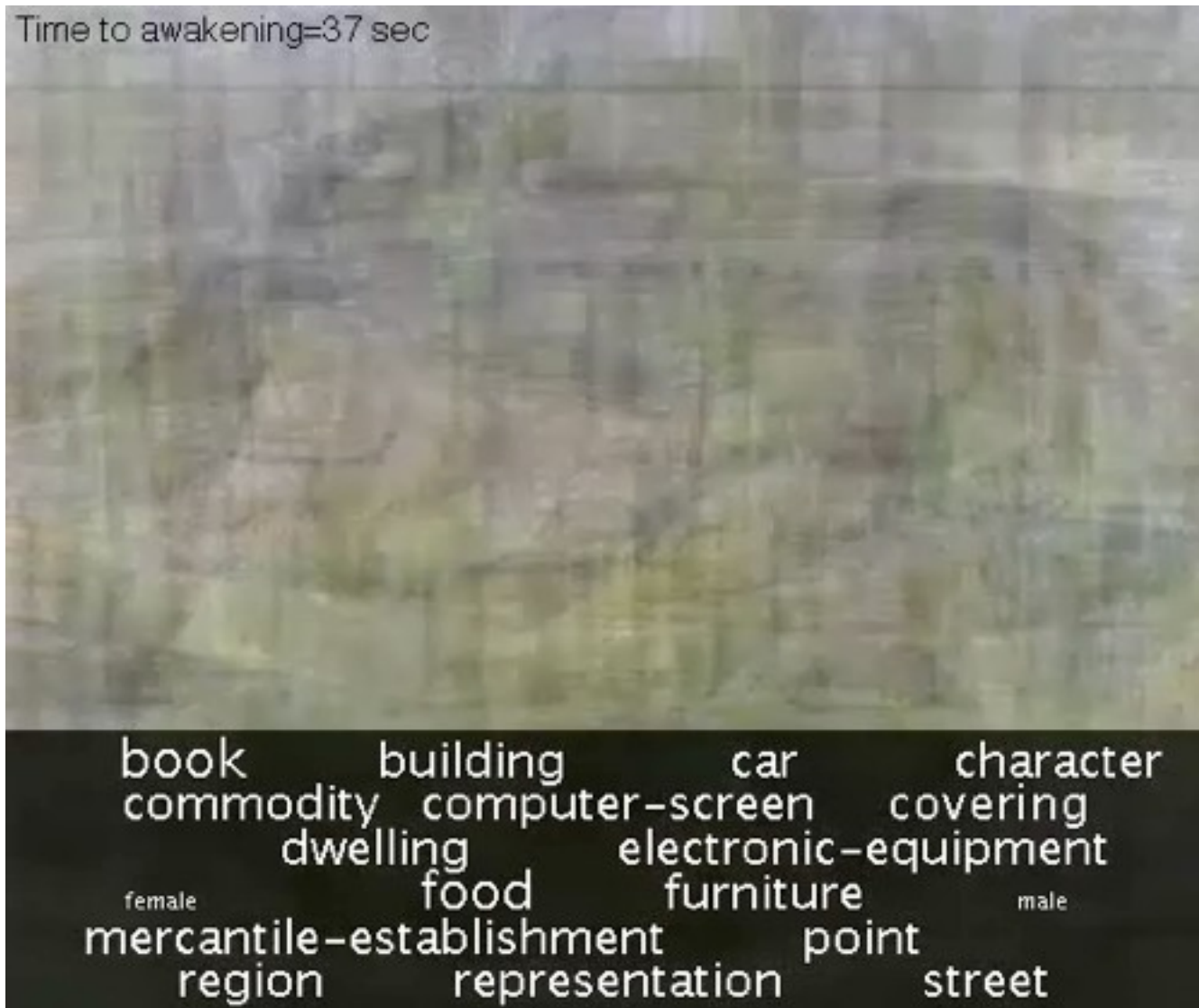
*Human* ~ FFA/LOC  
*Scene* ~ PPA

「ええと、直前に見ていたのはなんか文字でした。作文の原稿用紙みたいなもので、作文かなんか書いたんで、その文字を見る感じで、白黒で、その用紙だけ出てきました・・・」



\* Horikawa et al. (2013) Neural Decoding of Visual Imagery During Sleep, Science 340 (6132): 639-642, Supplementary Material, Movie S1.  
<http://science.sciencemag.org/content/340/6132/639.full>  
 DOI: 10.1126/science.1234330

えー、人がいました、人が3にんくらいいて、なんか室内のホールみたいな所で、男の人と女の人と子どもみたいな人ですね...



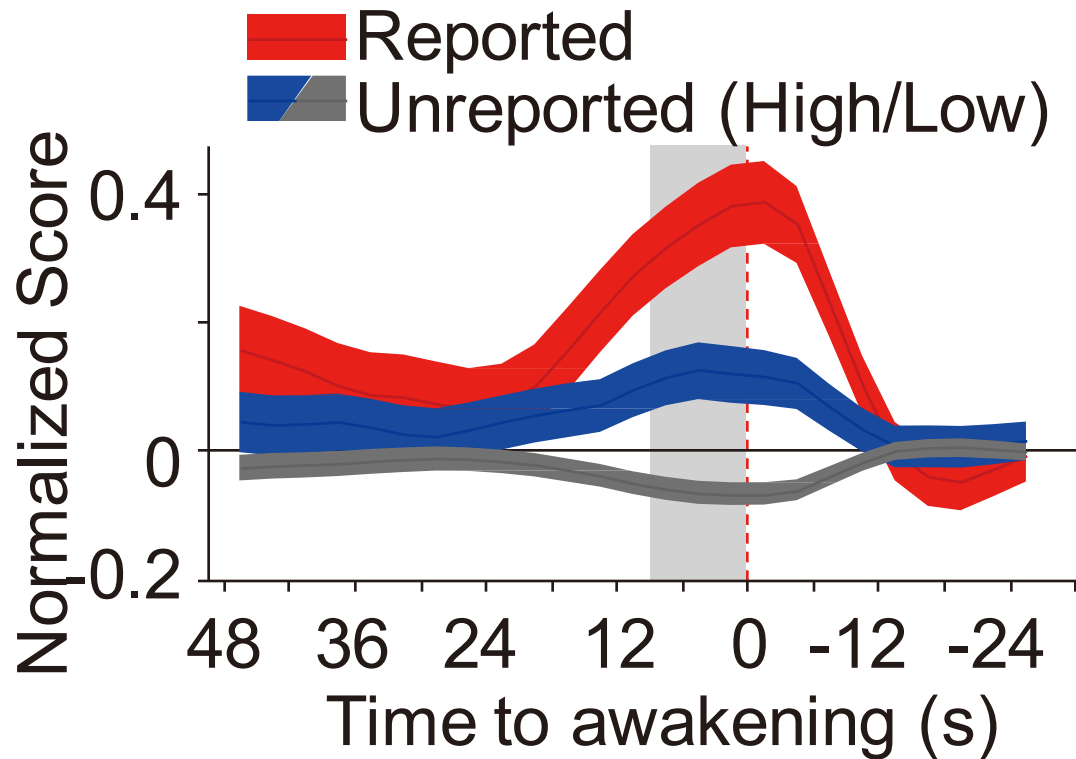
\*

Horikawa et al. (2013) Neural Decoding of Visual Imagery During Sleep, Science 340 (6132): 639-642, Supplementary Material, Movie S1.

<http://science.sciencemag.org/content/340/6132/639.full>

DOI: 10.1126/science.1234330

## 平均スコアの時系列



- High scores for reported synsets toward awakening
- High scores for unreported but relevant synsets (w. high co-occurrence), potentially reflecting unreported dream contents

# 課題

1. REM の夢？
2. 画像レベルの表現？（夢は映像か？）
3. 他の内容？:運動、感情等
5. 夢は知覚に似ている？想像に似ている？
6. 白昼夢（mind-wandering）との関係は？

# 展望

1. 連続睡眠中の脳活動からのデコーディング  
( 本人も覚えていない夢内容の全容解明 )
2. 睡眠前後の行動データとの対応付け
3. オンライン・デコーディングによる睡眠への介入

夢の機能の解明：

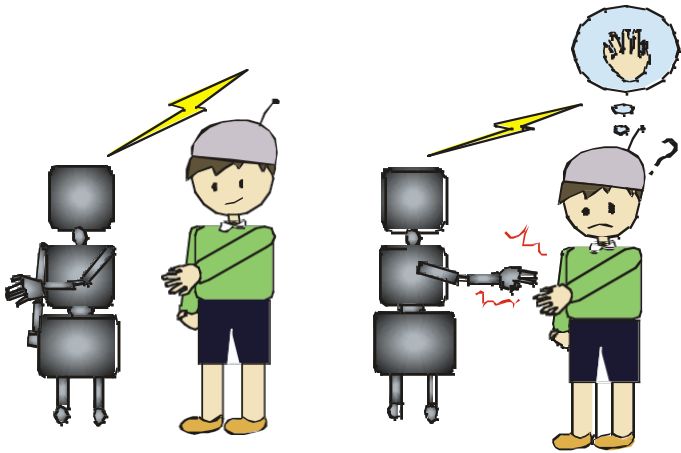
夢内容が行動や認知にどのように関係するか？

著作権等の都合により、  
ここに挿入されていた画像を削除しました

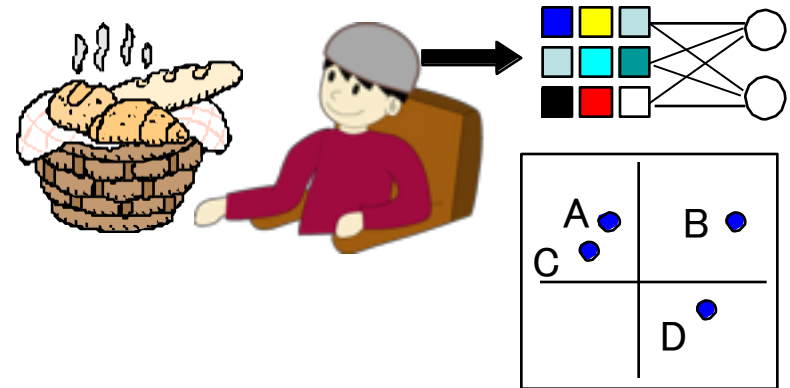
テレビドラマのキャプチャ  
ガリレオ第2シーズン第5話「念波る—おくる—距離  
200キロの目撃者！双子の神秘」(フジテレビ2013年  
5月13日放送)

# ブレイン・デコーディングの応用

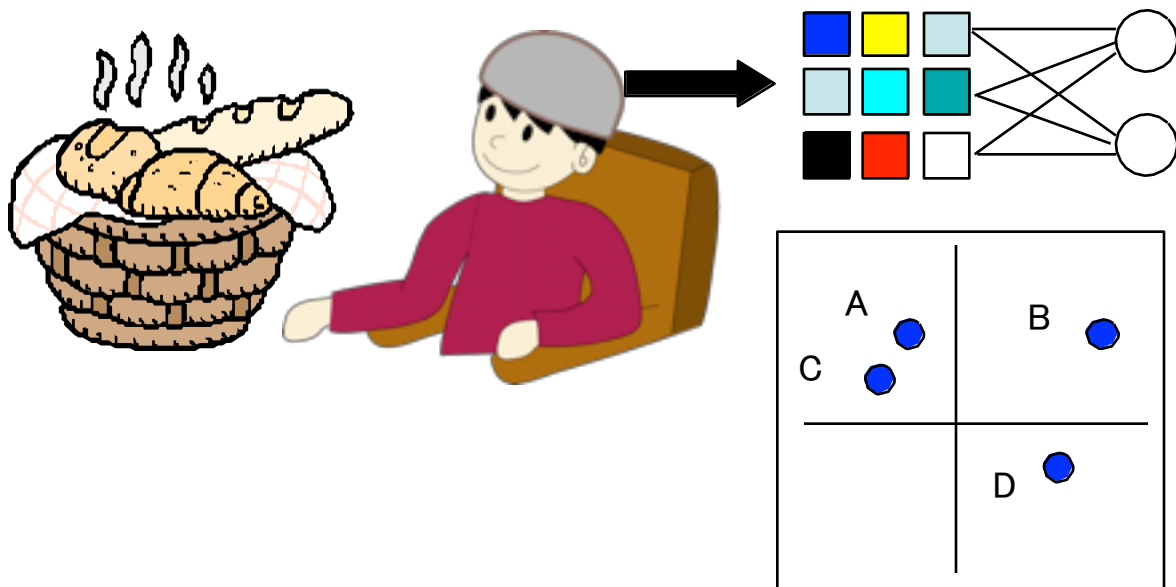
オンライン



オフライン



# 脳活動パターンのオフライン的利用 ( 1 )



脳活動を使った商品やコンテンツのポジショニング

# ニューロマーケティング： 消費行動の予測は可能か？

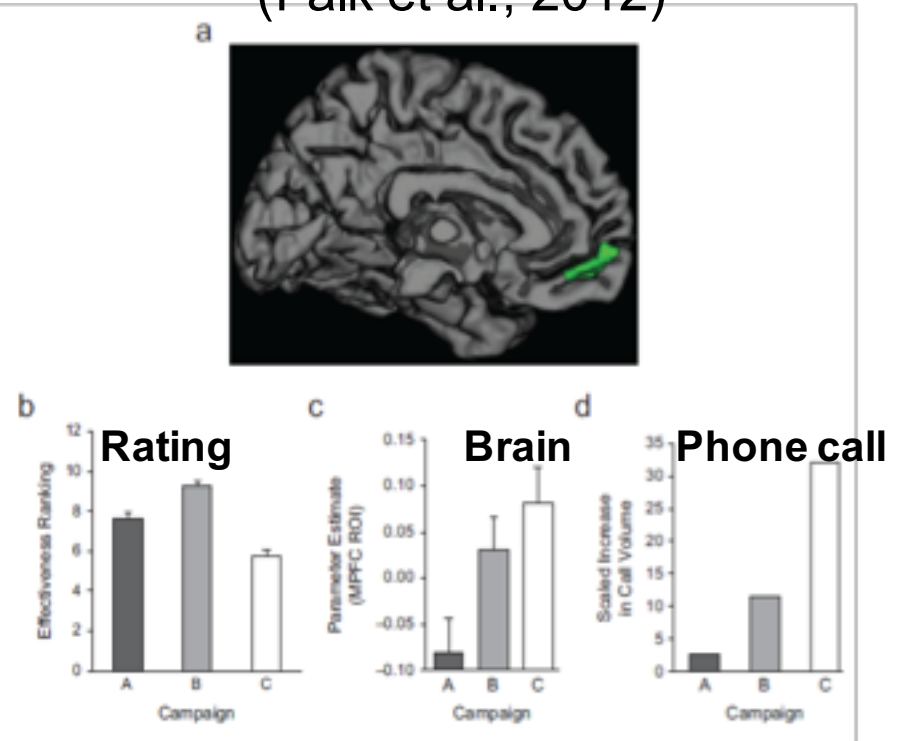
音楽コンテンツの将来の売上と脳活動  
(Berns & Moore., 2010)

キャンペーン効果と脳活動  
(Falk et al., 2012)

著作権等の都合により、  
ここに挿入されていた画像を削除しました

脳活動に関するグラフと断面図  
Berns and Moore (2010) A Neural  
Predictor of Cultural Popularity, p. 8 Fig. 2b.  
Available at Social Science Research  
Network.

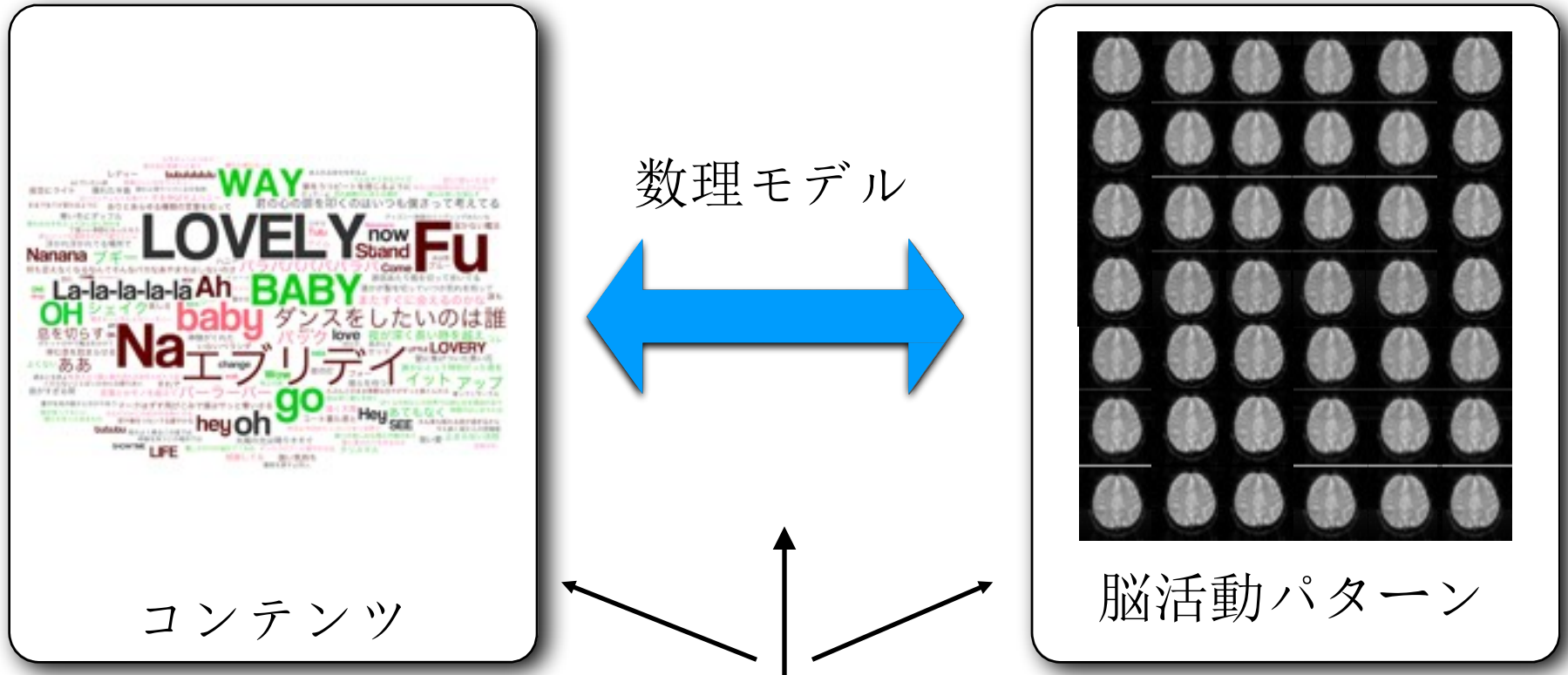
<http://ssrn.com/abstract=1742971>  
<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1742971>



スケーラブルなシステム？  
消費行動をデコーディング？

Falk et al. (2012) From Neural Responses to  
Population  
Behavior: Neural Focus Group Predicts  
Population-Level Media Effects, *Psychological Science*  
23(5): 439–445, p. 441 Fig. 1.  
<http://pss.sagepub.com/content/23/5/439.full>  
doi: 10.1177/0956797611434964

# 脳ビッグデータ解析による コンテンツ評価システム ( ImPACT )



インターネット上の大規模データ  
Twitter, youtubeなど

# 脳パターン類似度データベース

刺激画像



\* photo by John Ong, from flickr  
<https://flic.kr/p/r2q3kM>  
CC BY 2.0



\*

時間

photo by Jessica Spengler, from flickr  
<https://flic.kr/p/anuHx5>  
CC BY 2.0

脳画像



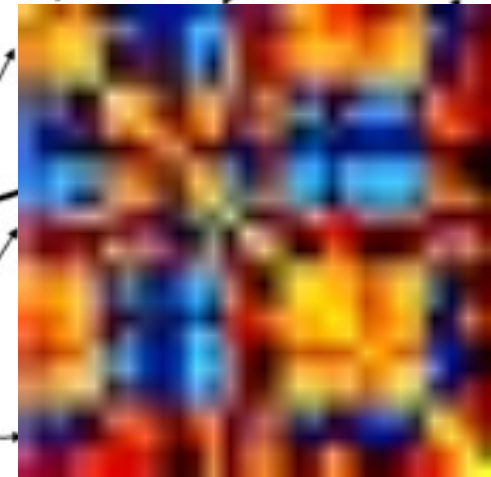
類似度の計算



\*



\*



脳類似度行列

- ・ コンテンツ数と被験者数の拡張
- ・ 属性・ 行動データ、ウェブ情報とリンク

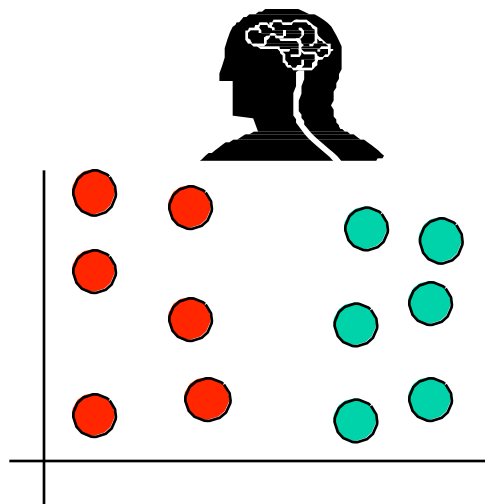
著作権等の都合により、  
ここに挿入されていた画像を削除しました

脳構造のイメージ図

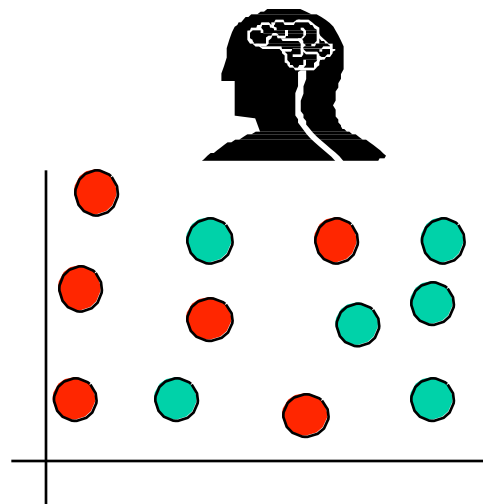
著作権等の都合により、  
ここに挿入されていた画像を削除しました

画像と形容詞の一致表

# 脳活動パターンのオフライン的利用 ( 2 )



Aさんの脳活動



Bさんの脳活動

● クラス1	<u>例1</u> “L”	<u>例2</u> “貸借対照表”
● クラス2	“R”	“損益計算書”

# 神経科学と人文・社会科学・産業

プラットフォーム  
(脳計測)

神経科学

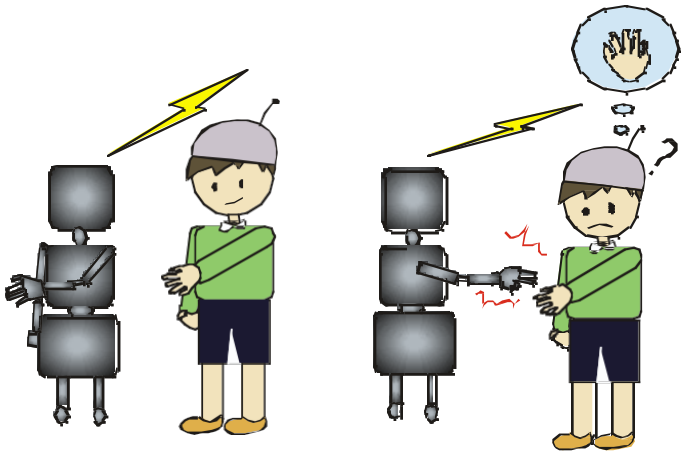


人文・社会科学・  
産業

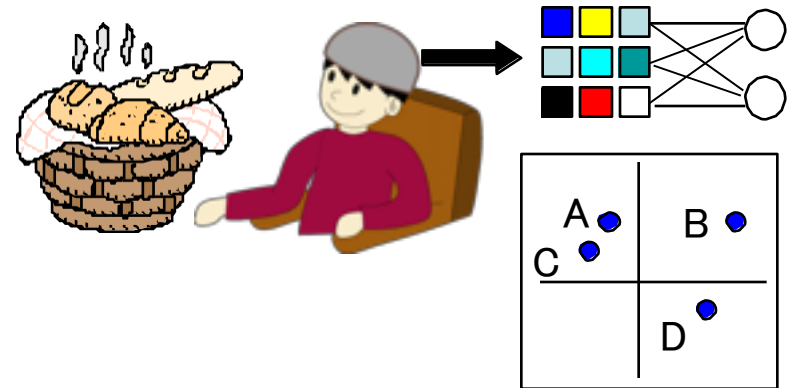
コンテンツ  
(「ラベル」)

# ブレイン・デコーディングの応用

オンライン



オフライン



# BMIとは？

## Definition 1

$$\text{BMI} = \frac{\text{体重 (kg)}}{\text{身長 (m)}^2}$$

## Definition 2

### **Brain-Machine Interface**

(ブレイン-マシン・インターフェース)

身体（筋肉）を介さず，直接脳から外界にメッセージやコマンドを送るチャンネル

# 挿入型電極を用いたBMI



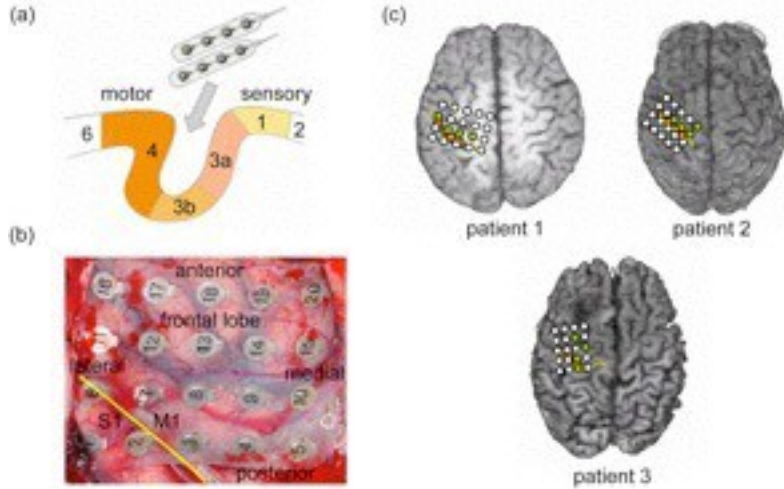
\*

Hochberg, L. R. et al. Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia. *Nature* **442**, 164-171 (2006).

Takufumi Yanagisawa, Masayuki Hirata, Youichi Saitoh, Amami Kato, Daisuke Shibuya, Yukiyasu Kamitani, Toshiki Yoshimine, 「Neural decoding using gyral and intrasulcal electrocorticograms」NeuroImage 45—4、2009年 pp 1099—1106  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053811909000056>  
p 1100、fig1a,b,c location of implanted subdural electrodes

# ECoG-based BMI

(Collaboration with Osaka University)



\*



Yanagisawa et al., 2009, 2012



Yanagisawa et al., 2009, 2012

# ECoG BMI tested on ALS patient

( 大阪大学脳神経外科 )

著作権等の都合により、  
ここに挿入されていた画像を削除  
しました

脳の手術時の写真

著作権等の都合により、  
ここに挿入されていた画像を削除  
しました

脳の手術後の映像

# 脳-行動ビッグデータ解析と睡眠研究

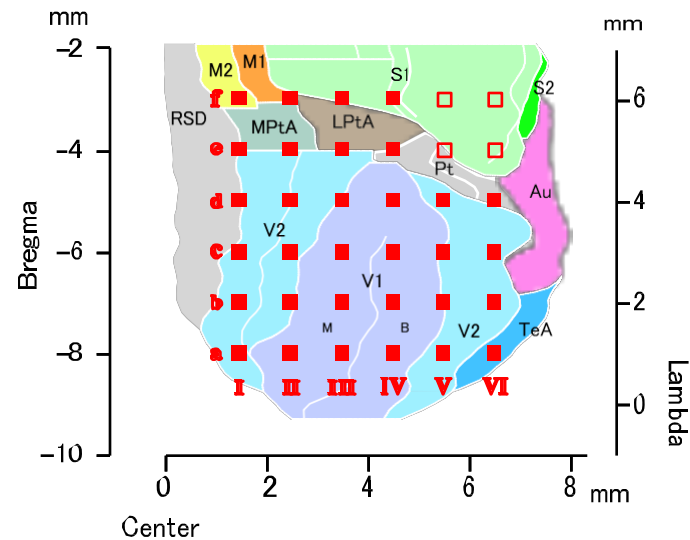
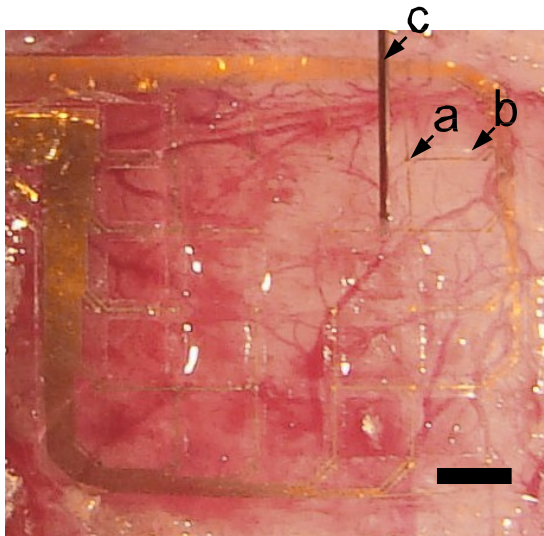
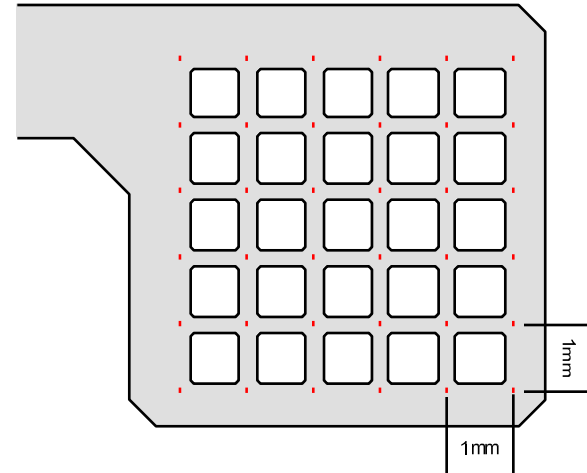
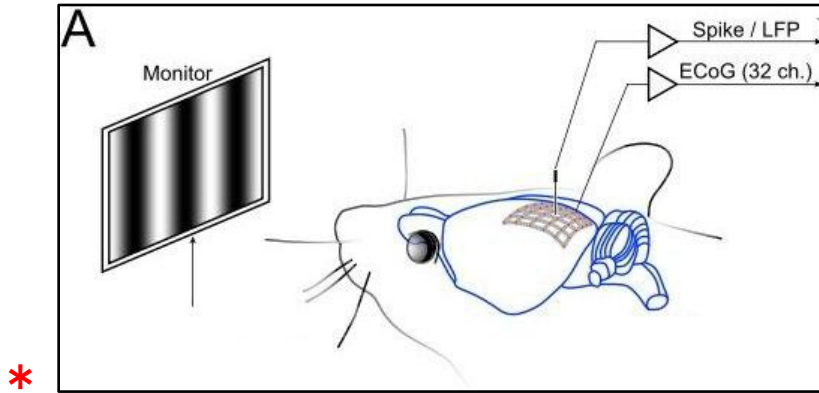
著作権等の都合により、  
ここに挿入されていた画像を削除しました

睡眠研究の写真・図

# Flexible mesh ECoG array

(Collaboration with Niigata U. and U. Tokyo)

Toda, Sawahata, Suzuki, Majima, Kamitani, Hasegawa [Simultaneous recording of ECoG and intracortical neuronal activity using a flexible multichannel electrode-mesh in visual cortex], *NeuroImage* 54-1, 2011年, pp203-212, p205fig1e, flexible electrode-mesh: structure, fabrication and in vivo application



(Toda, Sawahata, Suzuki, Majima, Kamitani, Hasegawa, 2011)

著作権等の都合により、  
ここに挿入されていた画像を削除しました

脳性マヒに関する記事

The Telegraph

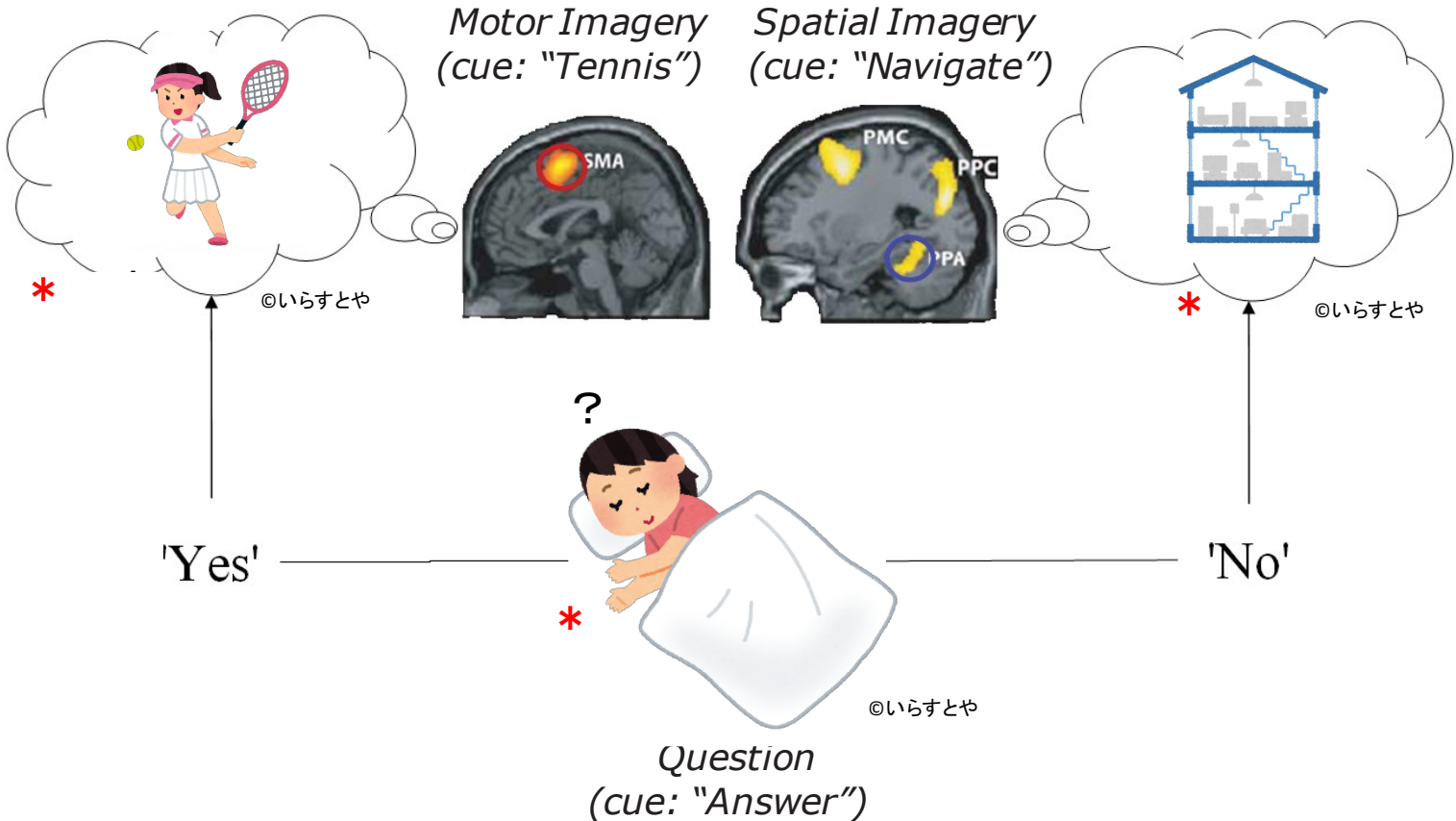
Conscious man 'in coma' for 23 years

<http://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/europe/belgium/6632518/Conscious-man-in-coma-for-23-years.html>

2009年11月23日

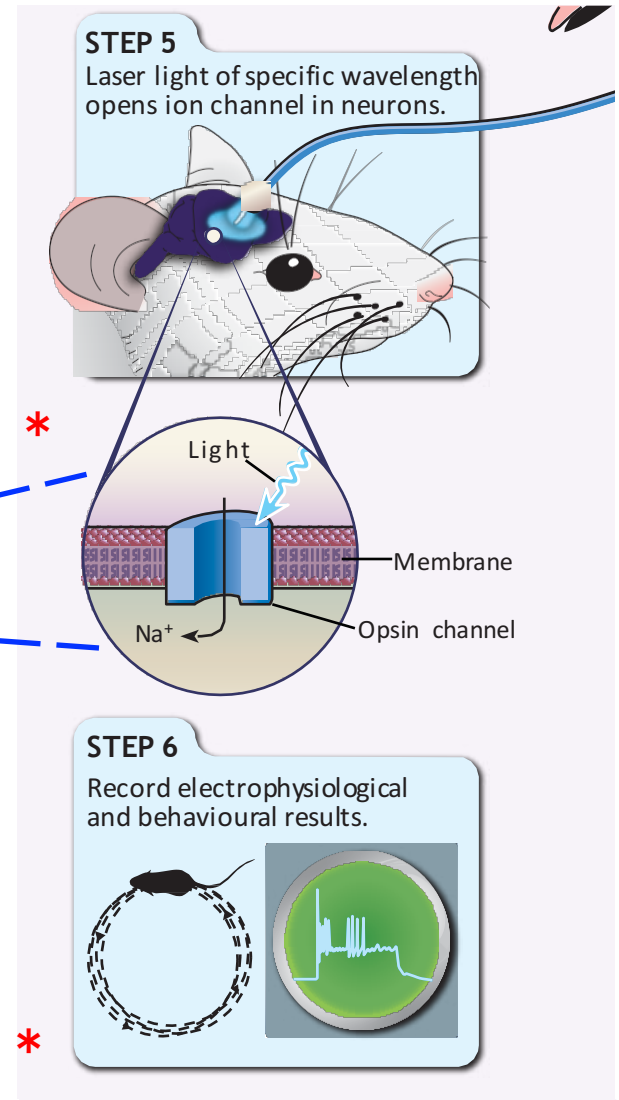
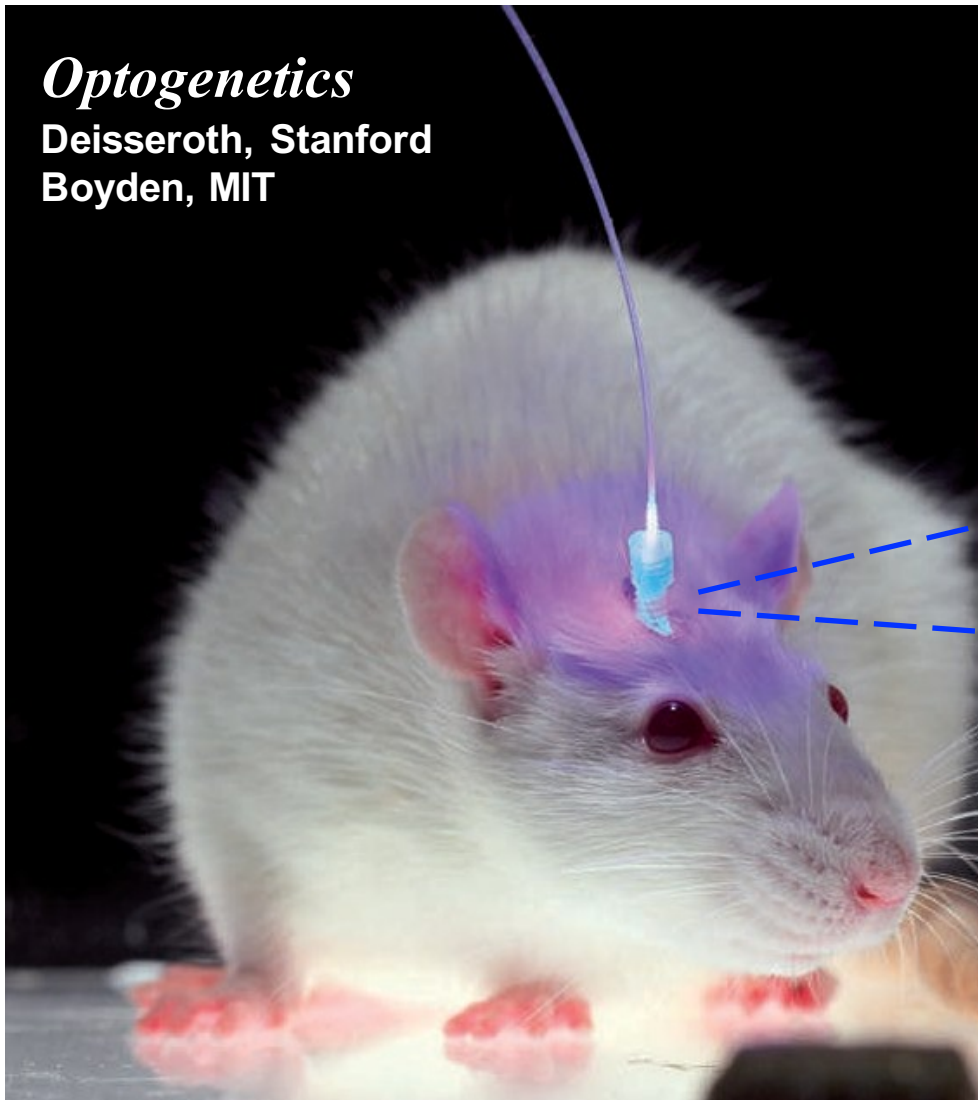
Claims that Rom Houben, a Belgian car crash victim, was suddenly able to communicate after a 23-year coma have been found to be false Photo: SKY

# Communication with a vegetative state patient via fMRI



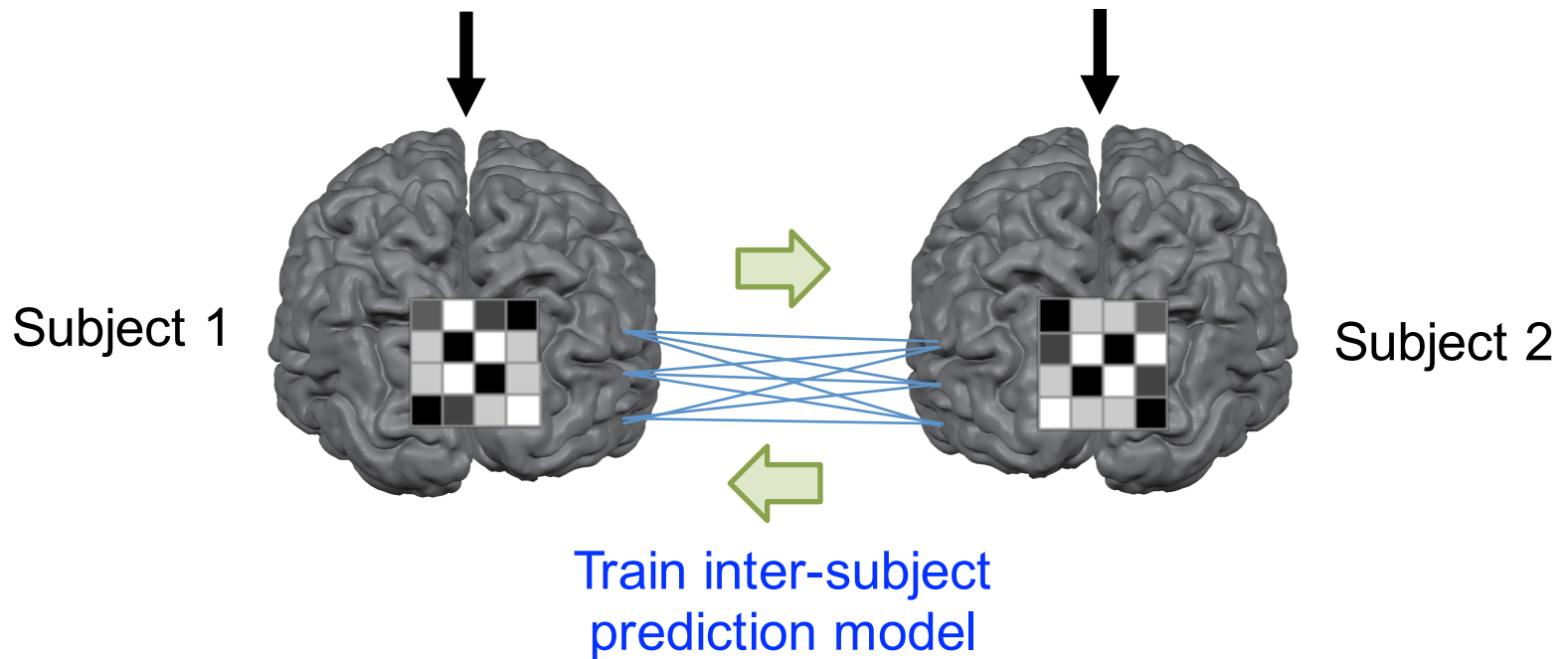
(Monti et al., 2010)

# 脳に情報を書き込む技術

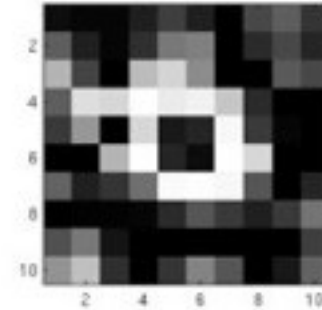


# 「脳コード変換器」

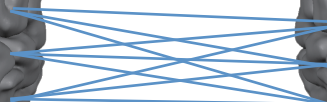
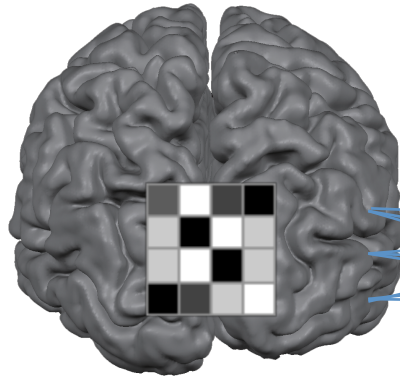
(Yamada, Miyawaki, Kamitani, *Neuroimage* 2015)



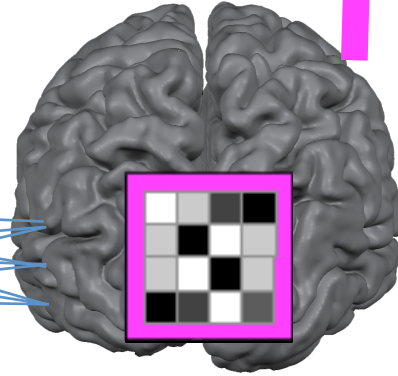
変換された脳活動  
からの再構成



Subject 1



Subject 2

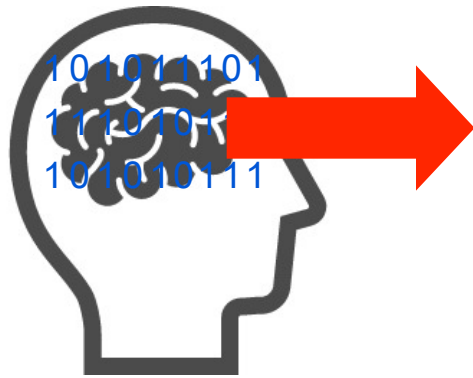


変換

変換脳活動パターンで脳刺激 → 脳-脳通信？

# 脳情報通信 1.0

デコーディングによる  
心的状態の外在化



通常の感覚情報処理  
による理解



# 脳情報通信 2.0

脳コード変換 → 脳刺激  
による脳-脳通信



\* ©ICOOON MONO

\* ©ICOOON MONO

# 「思考盗聴被害者」からのメール（ 1 ）

私は7、8年前から「\* \* \* \*」と呼ばれる集団から「思考盗聴」という被害を受けています。「思考盗聴」というのは、自分の考えている事が他人に盗み見られているという被害です。この「思考盗聴」は実際に可能なのか？という事を知りたくて神谷先生のご意見をお聞きしたくメールさせていただきました。もしよろしければ専門家としての見解をお教えいただけませんか？

# 「思考盗聴被害者」からのメール（ 2 ）

実際に起きている現象は以下の通りです。

- 1、頭の中で音声化した事が読み取られる。
- 2、頭の中でイメージした映像が再現される。
- 3、感情も読み取られる。
- 4、身体の状態も読み取られる。
- 5、どこに居ても自分の居場所を把握されている。

中略

ネットで神谷先生の研究の記事を見つけましたので、大変唐突で失礼とは思いましたがメールさせて頂きました。専門家としての見解をお教えいただければ幸いです。

# 心はプライベートな聖域？

著作権等の都合により、  
ここに挿入されていた画像を削除しました

漫画のコマ  
清水玲子『秘密・トップシークレット(1)』, 2001, 白泉社  
p81

「目で見える事と心で思う事は誰にも止められない  
どんなに科学や文化が進歩しても誰にもとがめない唯一残された自由  
な聖域

何をみているのか何を考えているのかその人だけの秘密の領域なのだ」

清水玲子『秘密・トップシークレット(1)』, 2001, 白泉社

# プライバシーと情報化社会

## プライバシー：

- 「一人にしておいてもらう権利」 (Warren & Brandeis, 1890)
- 「自己情報コントロール権」 (Westin, 1967)

## 情報化社会：

- 「情報機器の発達により情報を手に入れたり発信したりする費用(情報コスト)が劇的に低下した社会」
- プライバシー権がメディアの情報力に対抗。情報化社会が情報

# 「脳」情報化社会

「身体を介さない脳情報通信技術の発達により、心や脳の状態に関する情報を手に入れたり発信したりする費用が劇的に低下した社会」

## プライバシーの欲求

## 「情報化」の欲求

### 起源

内部状態を他者に知られると生存に不利

- 他者の内部状態を知って出し抜く
- 自分の内部状態を知らせることで協力関係を築く

### 最悪のシナリオ

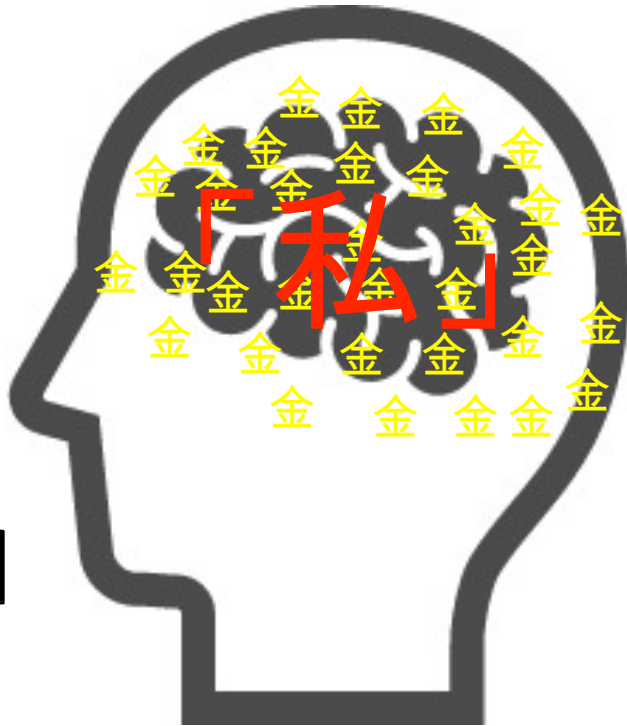
- 囚人のジレンマ
- 戦争

- 思考盗聴
- 管理社会

( cf., 仲正 昌樹 『「プライバシー」の哲学』 )

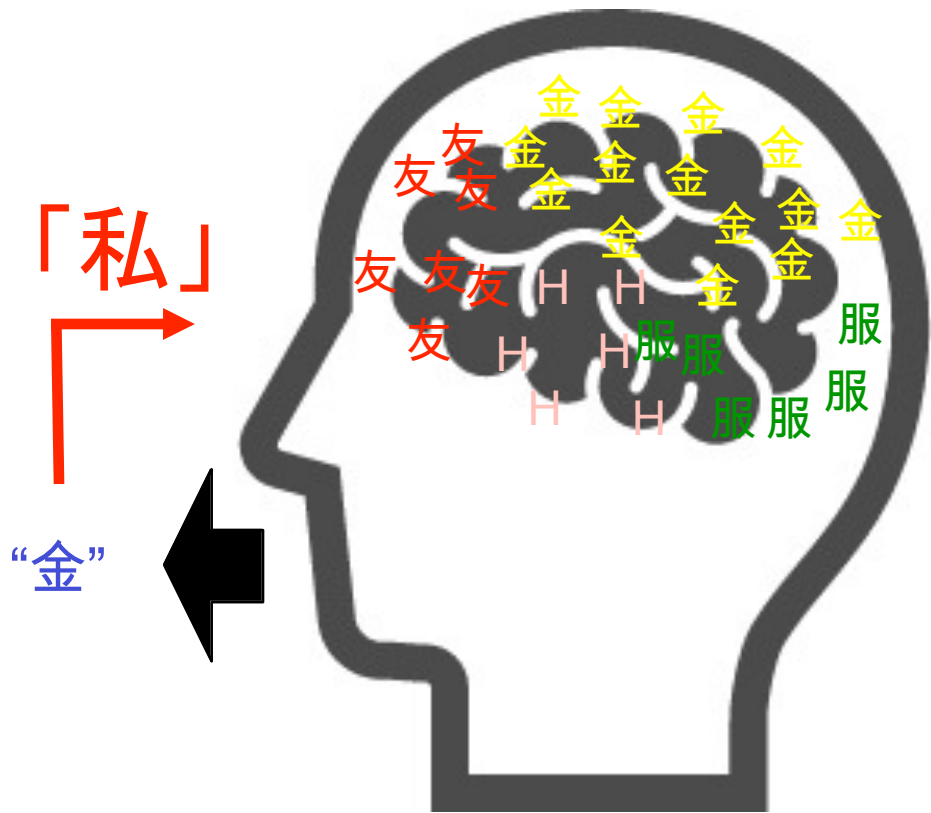
# 「私」 1.0

- 近代的「私」観 ( 自我、ego )
- 他者からアクセスできない「私」だけの聖域
- 「私」のことは「私」がもっとも良く把握している
- 「私」の中で自由意志生じ行為が生成、行為の結果に責任
- 近代社会の前提



\* ©ICCOON MONO

# 「私」 2.0



\* ©ICOON MONO

- 現代の神経科学・認知科学が示唆する「私」観
- 脳内に複数の意志決定過程
- 「私」もアクセスできない情報が脳に表現
- 脳の物理的過程で行為が生成（自由意志は無い？）
- 出力を通して「私」の統一性

# Choice blindness

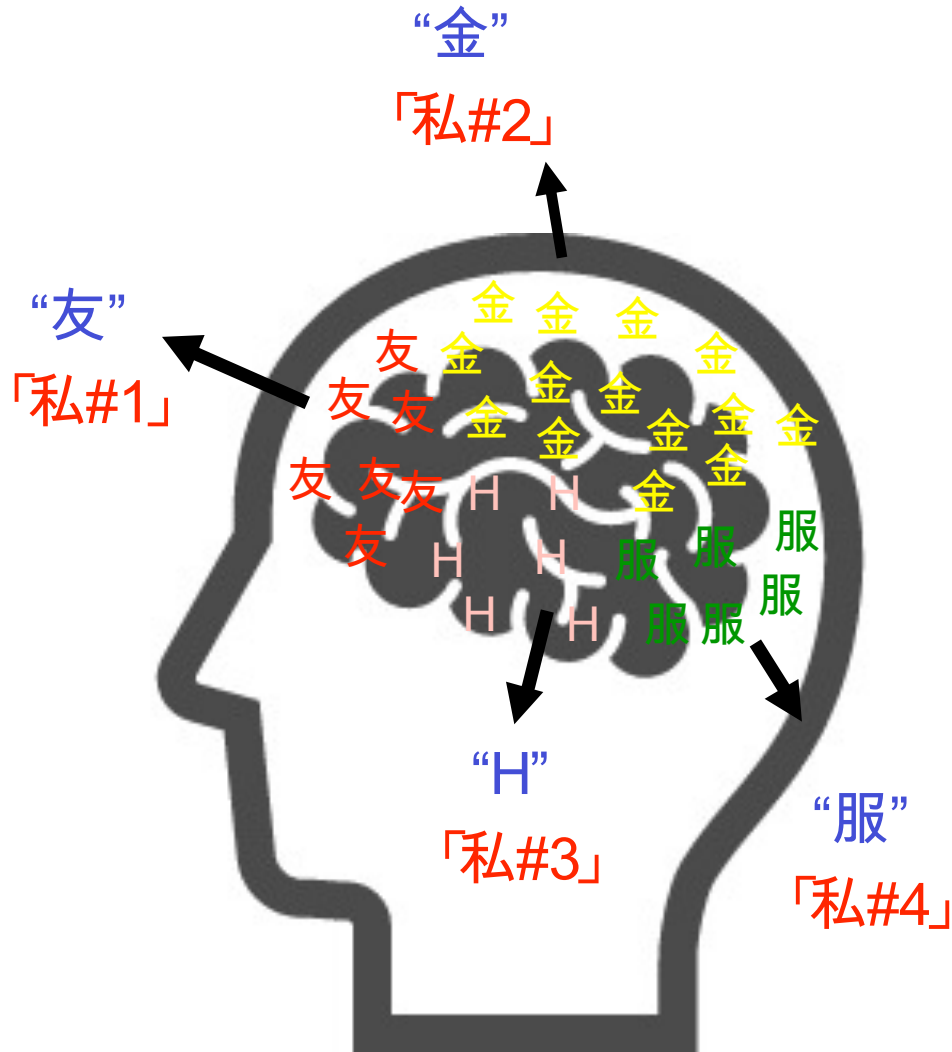
著作権等の都合により、  
ここに挿入されていた画像を削除しました

## 写真を選ぶ実験の写真

Petter Johansson<sup>1</sup>, Lars Hall<sup>1</sup>, Sverker Sikström,  
Andreas Olsson, Failure to Detect Mismatches  
Between Intention and Outcome in a Simple  
Decision Task, *Science* 310, 2005, pp116-119  
<http://science.sciencemag.org/content/310/5745/116>  
p117, fig1A snapshot sequence of the choice  
procedure during a manipulation trial

(Johansson et al., *Science* 2005)

# 「私」 3.0



- 脳情報通信技術が生み出すかもしれない「私」観
- 脳の複数の部位から情報を解読し外部に接続
- 統一された「私」は消失？

# まとめ

1. 脳活動 = 心のコード ( 暗号 ) とみなし、機械学習 ( 人工知能 ) による脳活動パターンの解読 ( デコーディング )
2. デコーダの般化によるマインド・リーディング
3. 多様な出力をもつモジュラー・デコーディングと視覚像再構成
4. 夢内容の解読 : 睡眠時脳活動と夢内容の対応を実証
5. ブレイン・デコーディングのオフライン的応用
5. ブレイン-マシン・インターフェース ( BMI )
6. 脳情報通信技術が生み出すかもしれない未来の社会と人間観

# Acknowledgments

## ATR

Okito Yamashita  
Yoichi Miyawaki  
Hajime Uchida  
Masako Tamaki  
Tomoyasu Horikawa  
Yukuke Fujiwara  
Kentaro Yamada

## Vanderbilt

Frank Tong

## NIPS

Norihito Sadato

## Osaka U

Takufumi Yanagisawa  
Masayuki Hirata  
Toshiki Yoshimine



**ATR脳情報研究所・神経情報学研究室**

**<http://www.cns.atr.jp/dni/>**

**Twitter: @ykamit**