


# ブレイン・デコーディング 脳内イメージをAIで解読する

京都大学 情報学研究科  
神谷之康

<http://kamitani-lab.ist.i.kyoto-u.ac.jp>

 @ykamit

## 神谷之康（かみたにゆきやす）

- 1970年、奈良県桜井市生まれ
- 東京大学教養学部教養学科卒業（認知行動科学・科学哲学）
- カリフォルニア工科大学博士課程修了（Ph.D.,  
Computation and Neural Systems）
- ハーバード、プリンストンを経て、2004年よりATRに勤務
- 2008年～ ATR神経情報学研究室・室長（NAIST客員教授）
- 2015年～ 京都大学大学院情報学研究科・教授
- 2018年～ ATRフェロー
-  @ykamit

# 何のための脳？

社会性・心を読むため

(Dunber, 1992, 1998)

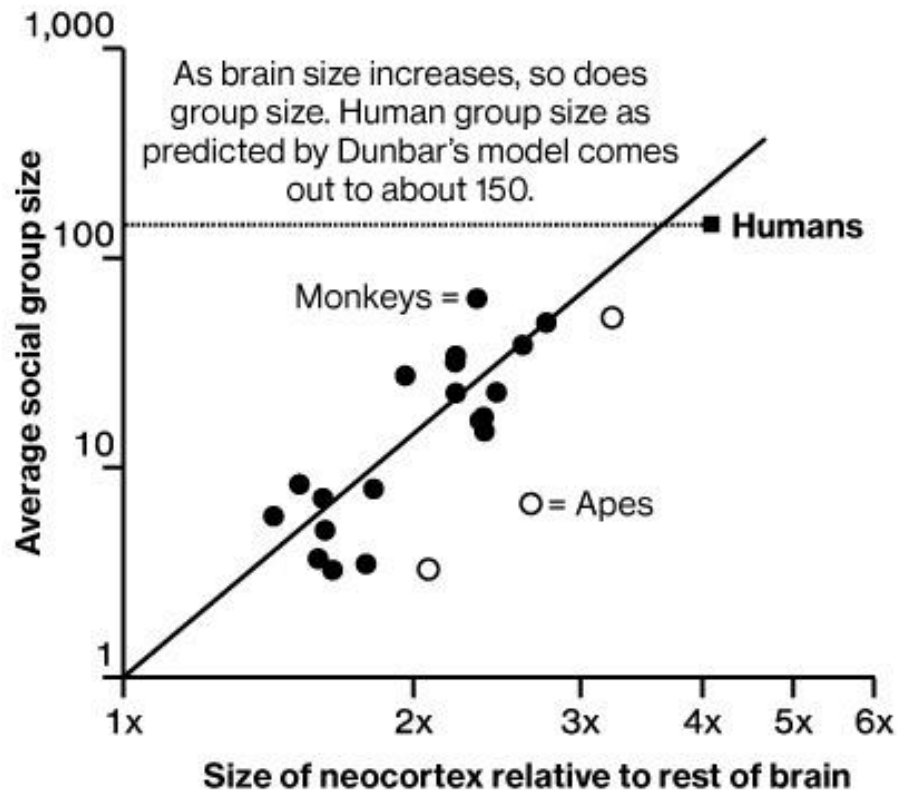
フルーツを見つけるため

(DeCasien et al., 2017)

動くため

(Wolpert, 2011)

## The Social Cortex



DATA: THE SOCIAL BRAIN HYPOTHESIS, DUNBAR 1998



Daniel Wolpert  
“The real reason for brains”  
*TED Global 2011*

[https://www.ted.com/talks/daniel\\_wolpert\\_the\\_real\\_reason\\_for\\_brains](https://www.ted.com/talks/daniel_wolpert_the_real_reason_for_brains)

「**ホヤ**は岩場に定着して泳ぐ必要がなくなると自分の脳を消化してしまう。テニユア（終身在職権）をとった大学教授と同じように」

「思考や感情のためではなく**運動制御**のために脳が進化した」

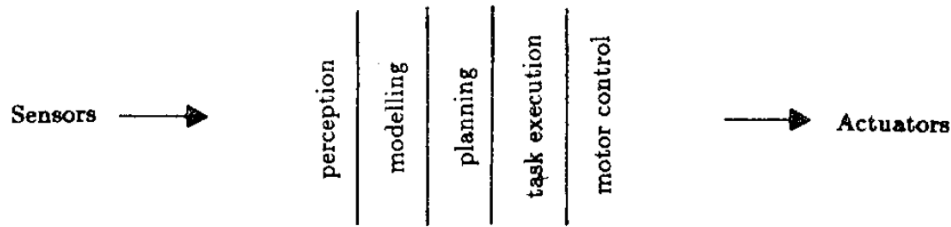


Fig. 1. Traditional decomposition of a mobile robot control system into functional modules.

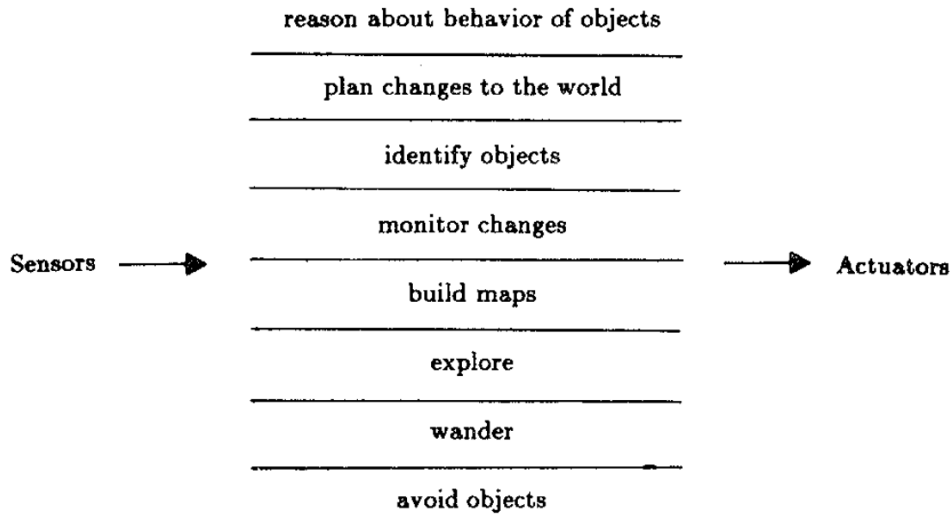
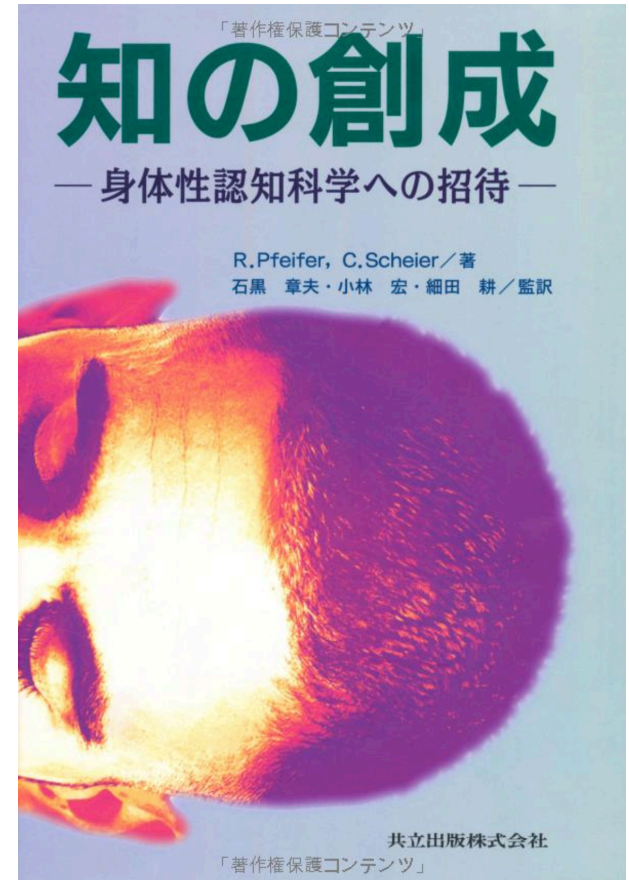


Fig. 2. Decomposition of a mobile robot control system based on task-achieving behaviors.

(Brooks, 1986)



(Pfeifer and Scheier, 2001)

**脳は身体のおまけ？**

「身体なしに意識は宿らない」

「身体性の欠如は社会病理」

「AIに身体性は不可欠」

# Conscious man 'in coma' for 23 years

A Belgian man diagnosed as being in a coma for 23 years was actually conscious the whole time.

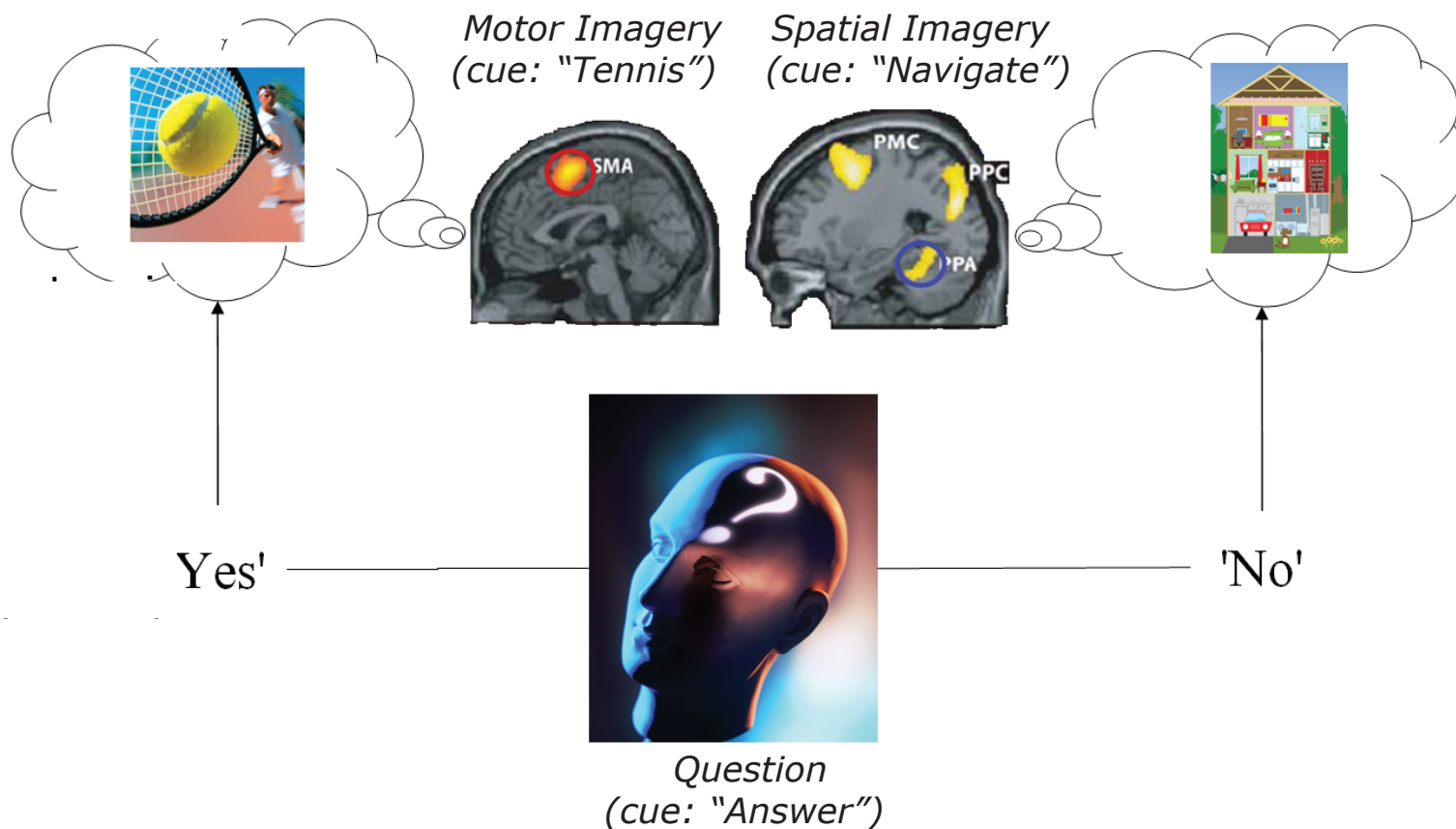


Claims that Rom Houben, a Belgian car crash victim, was suddenly able to communicate after a 23-year coma have been found to be false Photo: SKY

The Telegraph, 2009.11.23

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

# 植物状態の人との脳を介したコミュニケーション

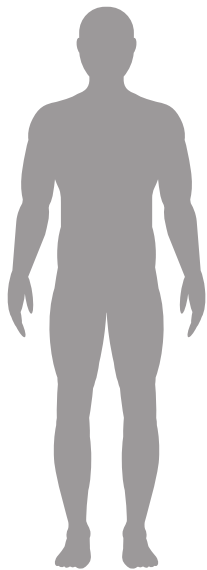


(Monti et al., 2010)



# 身体

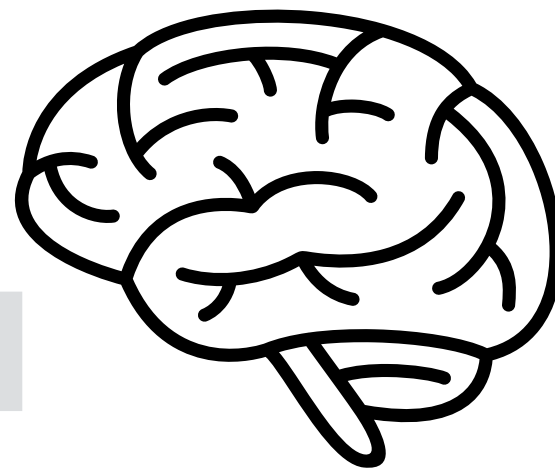
(運動・感覚器官)



視細胞：~150万

骨格筋：~600

# 脳



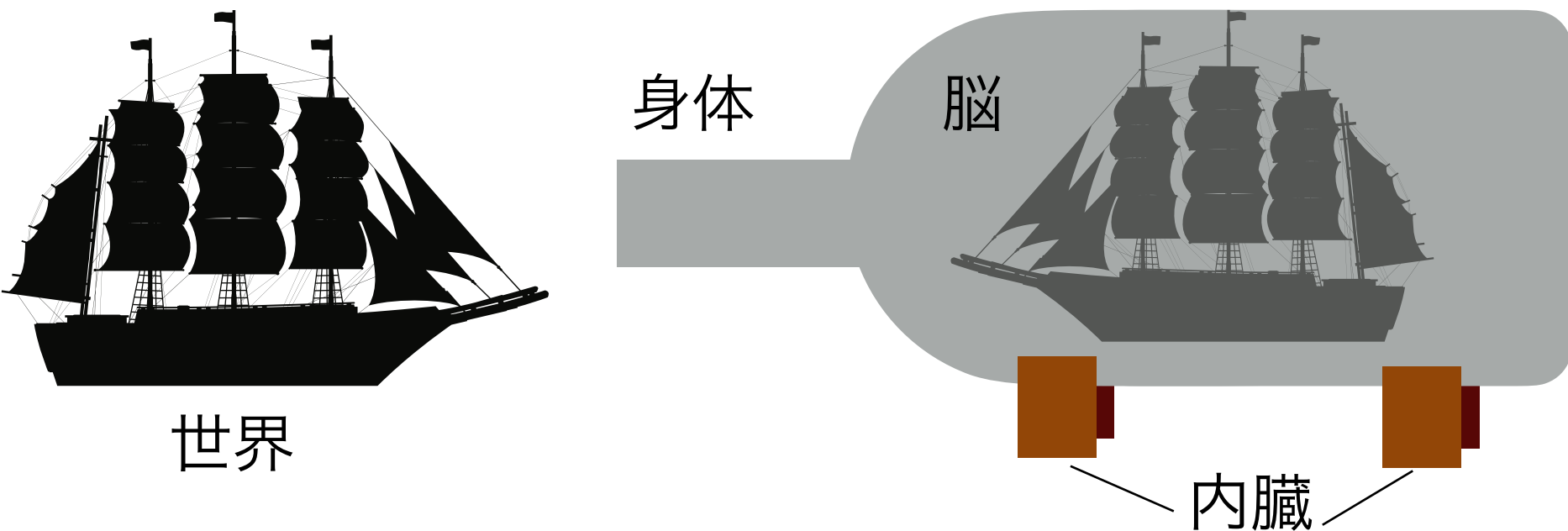
ニューロン：860億

(大脳、160億)

視神経：~100万

皮質脊髓路：~100万

# 身体は脳にとって「ボトルネック」

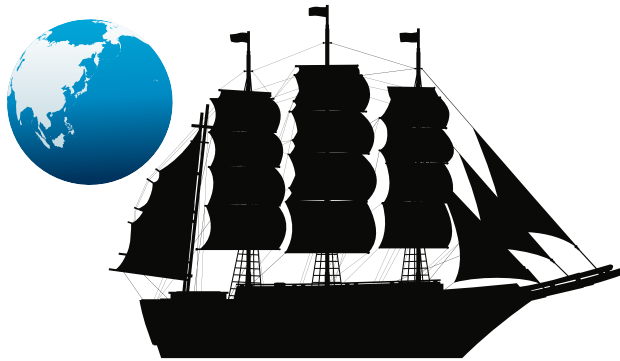


3Dシーン → 2D網膜像 → 3Dイメージ

漢字 ← かな ← 指運動 (ローマ字) ← かな ← 漢字

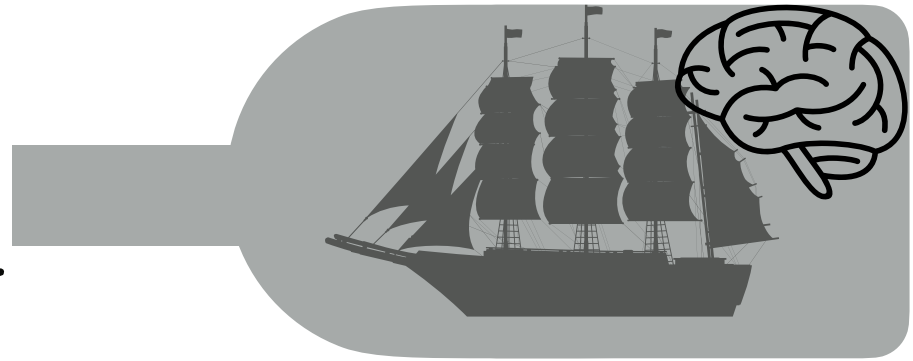
言語 ← 発声運動 ← 思考・イメージ

## 世界



原子や分子  
自然の階層構造  
近接作用

## 脳

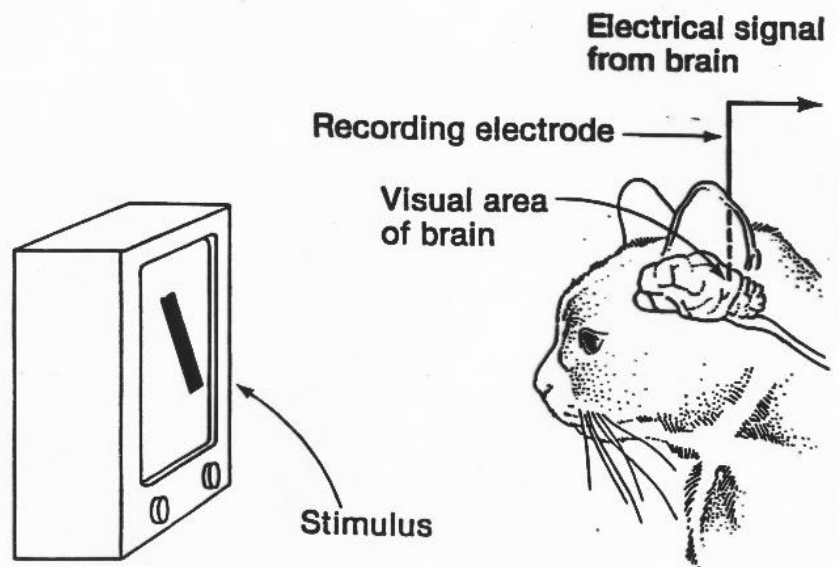


ニューロンとスパイク  
ネットワーク  
局所・遠隔コネクション

脳は**独特な仕方**で世界をコードしている

脳内世界モデル = 「ニューロバース」を外在化・共有できるか

# 刺激をコードする視覚野ニューロンの スパイク

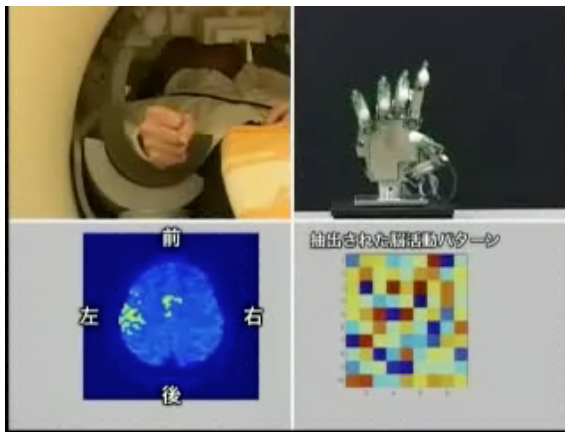


Orientation selective neuron (Hubel and Wiesel)  
<https://www.youtube.com/watch?v=jw6nBWo21Zk>

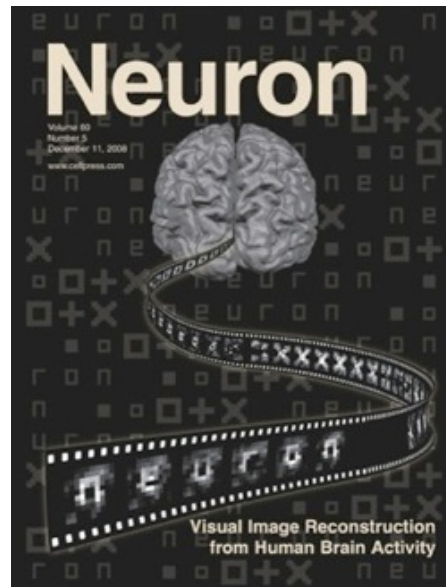
# ブレイン・デコーディング

「脳活動＝心的内容を表現するコード」とみなし、機械学習によるパターン認識で脳信号を解読

(Kamitani et al., *Nature Neuroscience* 2005)



BMI (e.g., *Annals of Neurology* 2011)

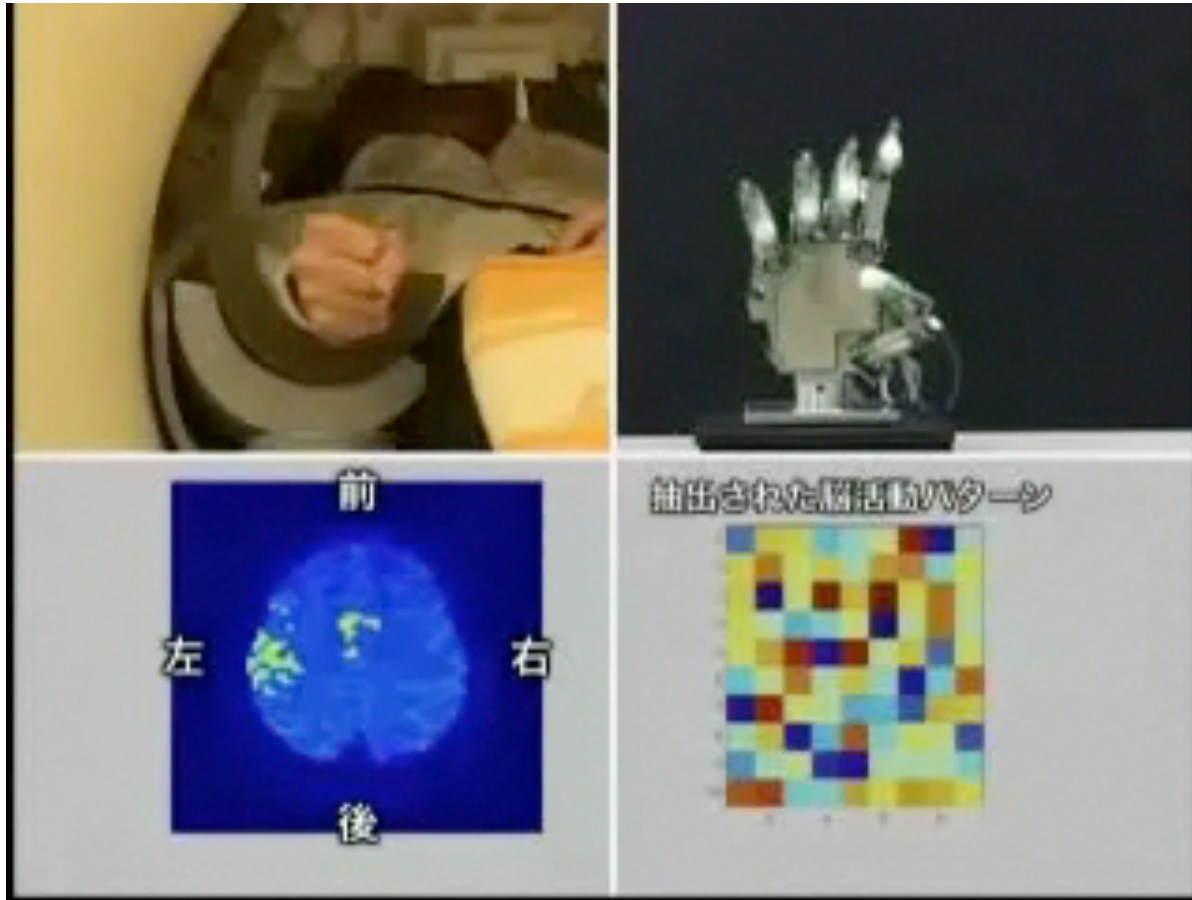


視覚像再構成  
(*Neuron* 2008)



夢の解読 (*Science* 2013)

脳が世界をコードする独特な仕方を理解 → AI・ロボット



(Kimura, Imamizu, Shimada, Oztop, Harner, Kamitani, 2006)



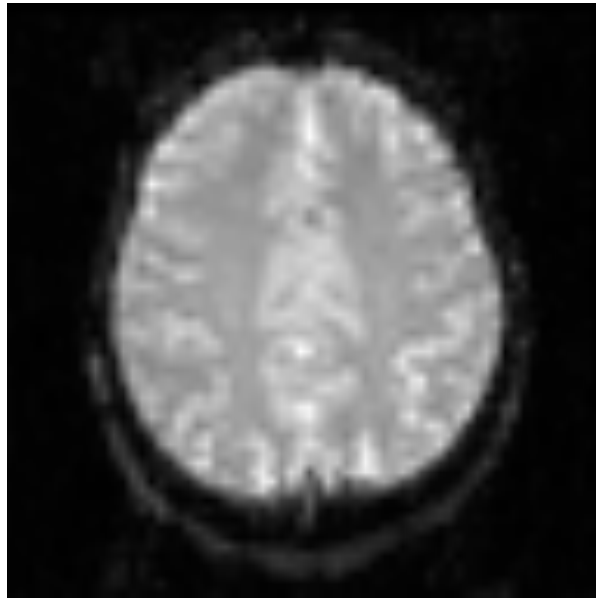
or

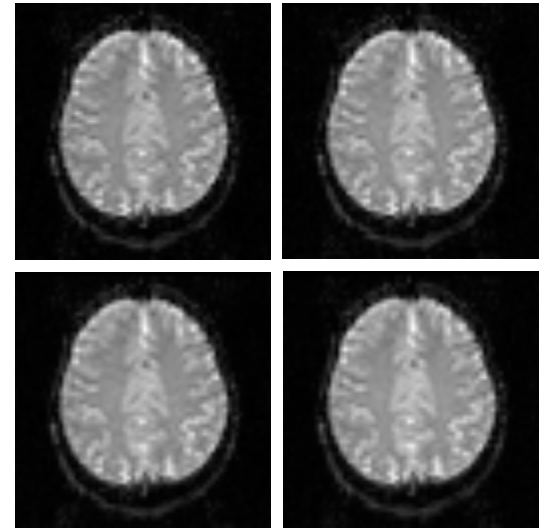
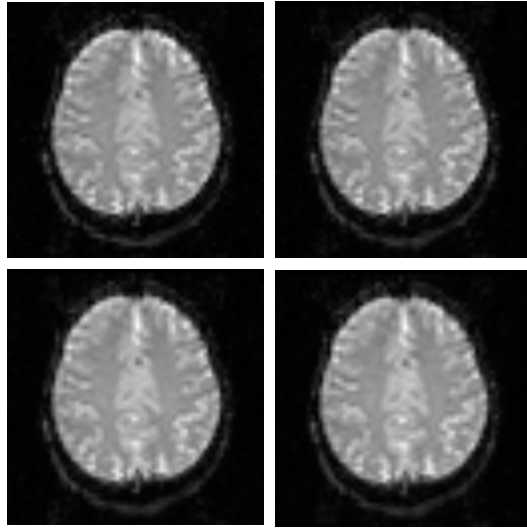
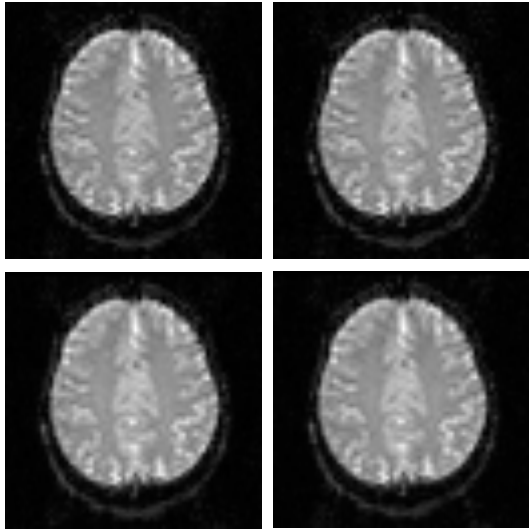


or



?

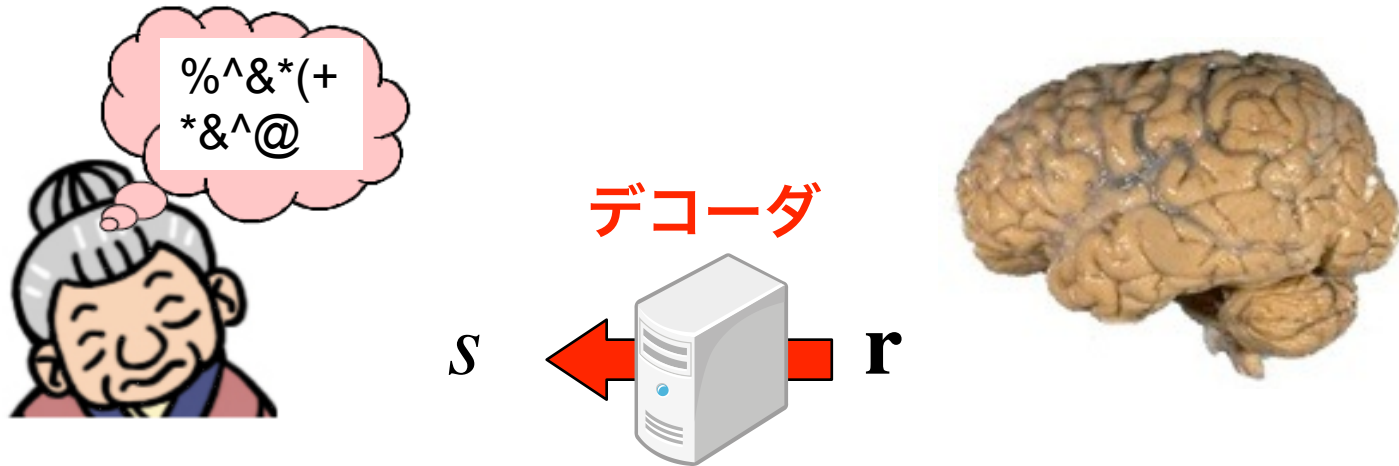






# コンピュータに学習させよう！ 機械学習によるデコーディング

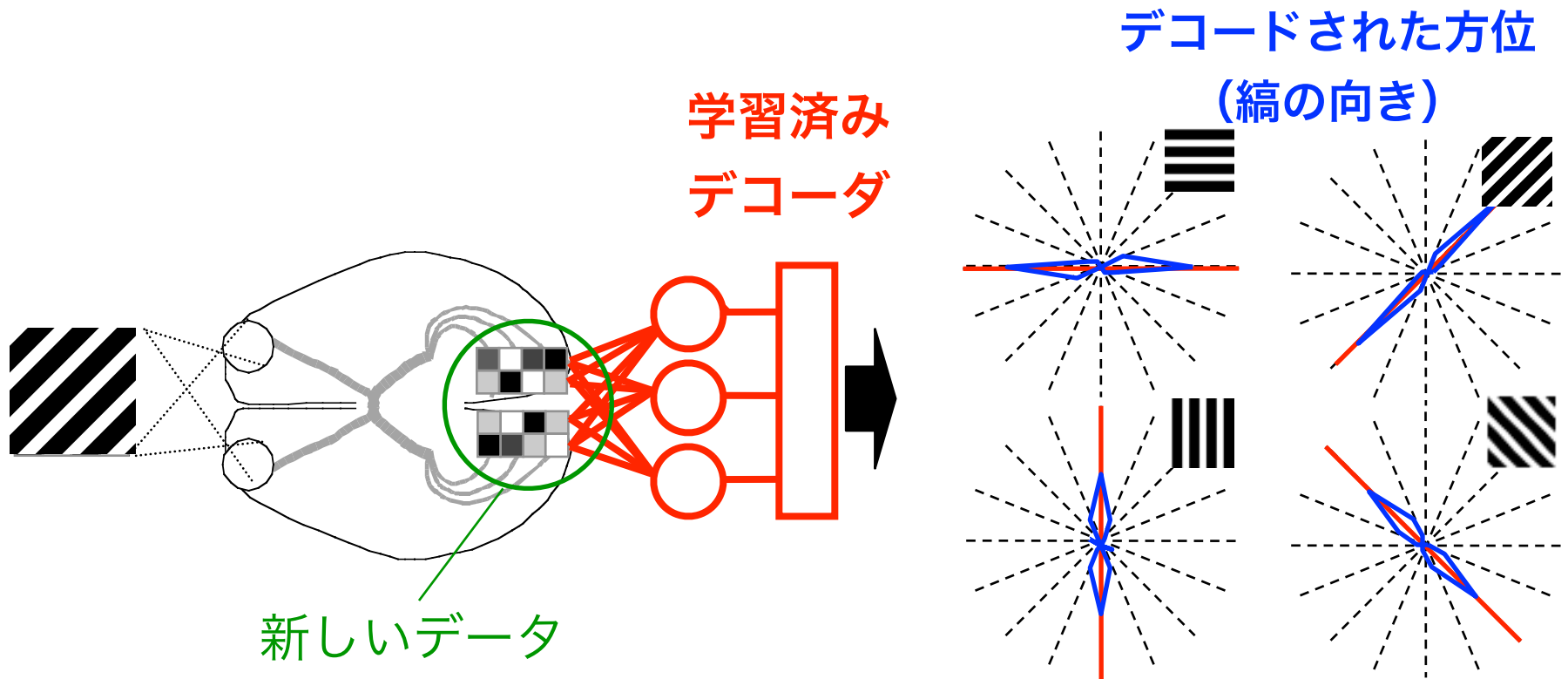
(Kamitani and Tong, *Nat Neurosci* 2005)



1. 脳活動データ ( $\mathbf{r}$ ) を計測し、刺激や課題の変数でラベル( $s$ )をつける
2. 上記データを学習データとして用い、機械学習アルゴリズムにより脳活動( $\mathbf{r}$ )からラベル( $s$ )を予測する「デコーダ」を構築する
3. デコーダの学習に用いていない新たなデータで評価する

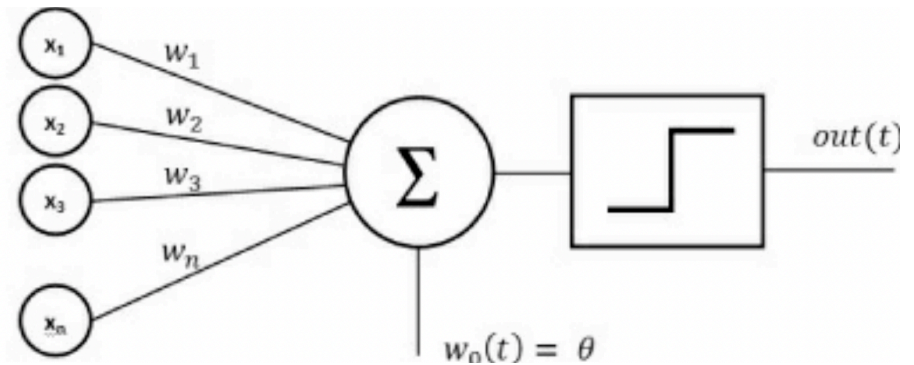
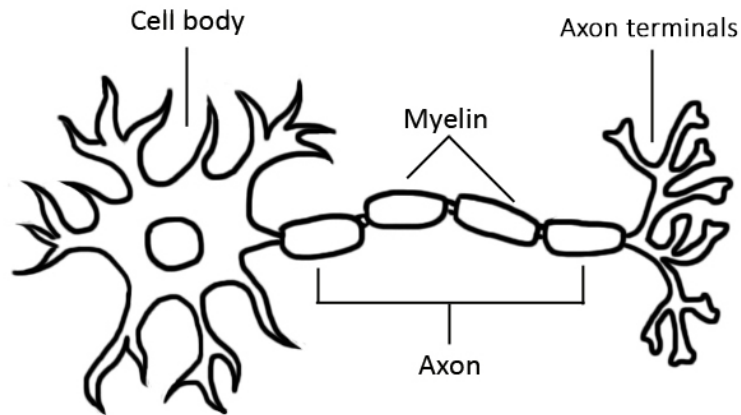
# 視覚的方位のデコーディング

(Kamitani and Tong, *Nat Neurosci* 2005; *Curr Biol* 2006; Kamitani and Sawahata, *Neuroimage* 2008; Tong et al. *Neuroimage* 2012)

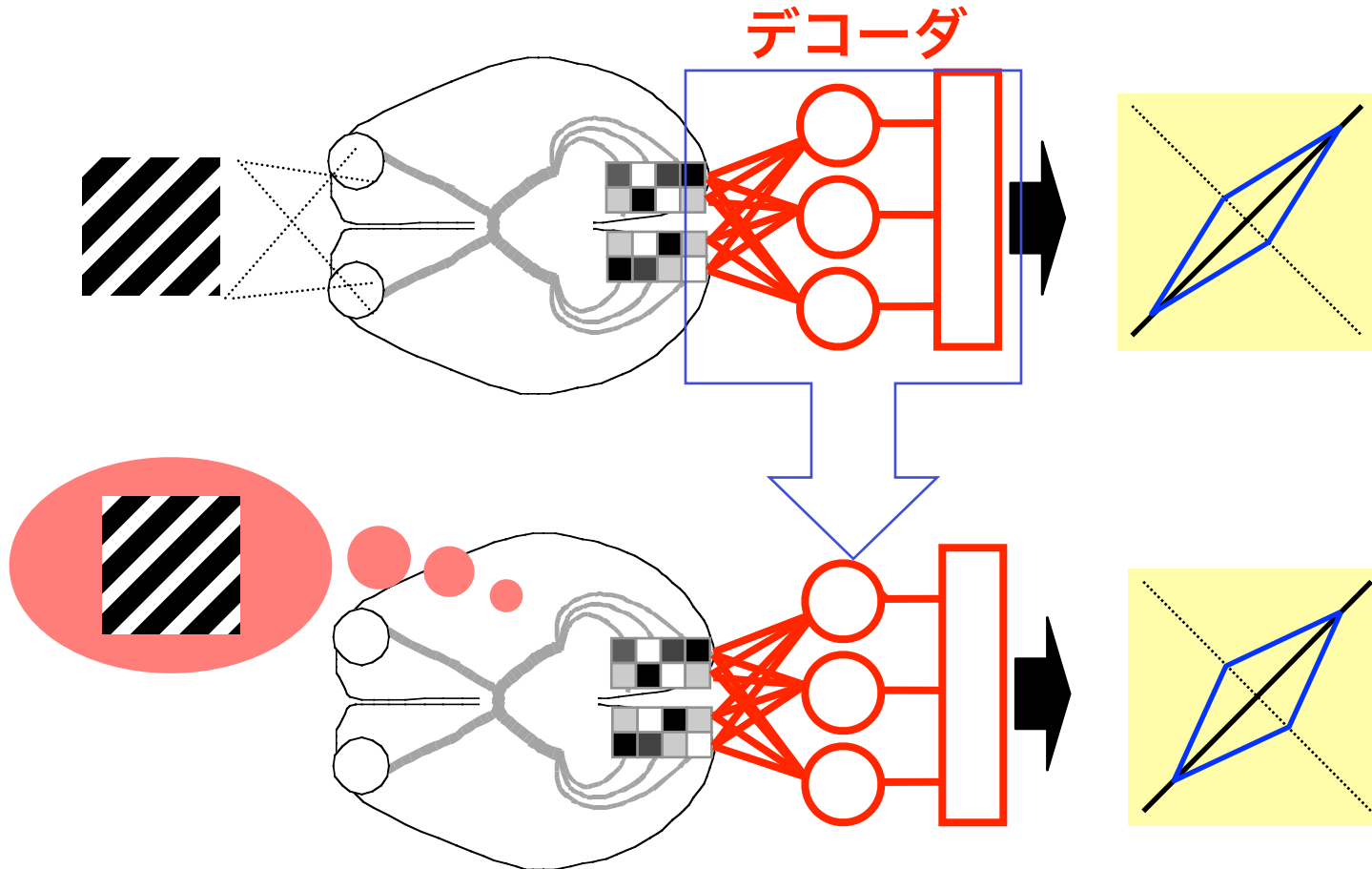


- データ数 (数百～数千) > パラメータ数 (数十万)
- カーネル法 (SVM)、変分ベイズ (ARD) etc.

# ヒトの脳を「小さな脳のモデル」で 解読する



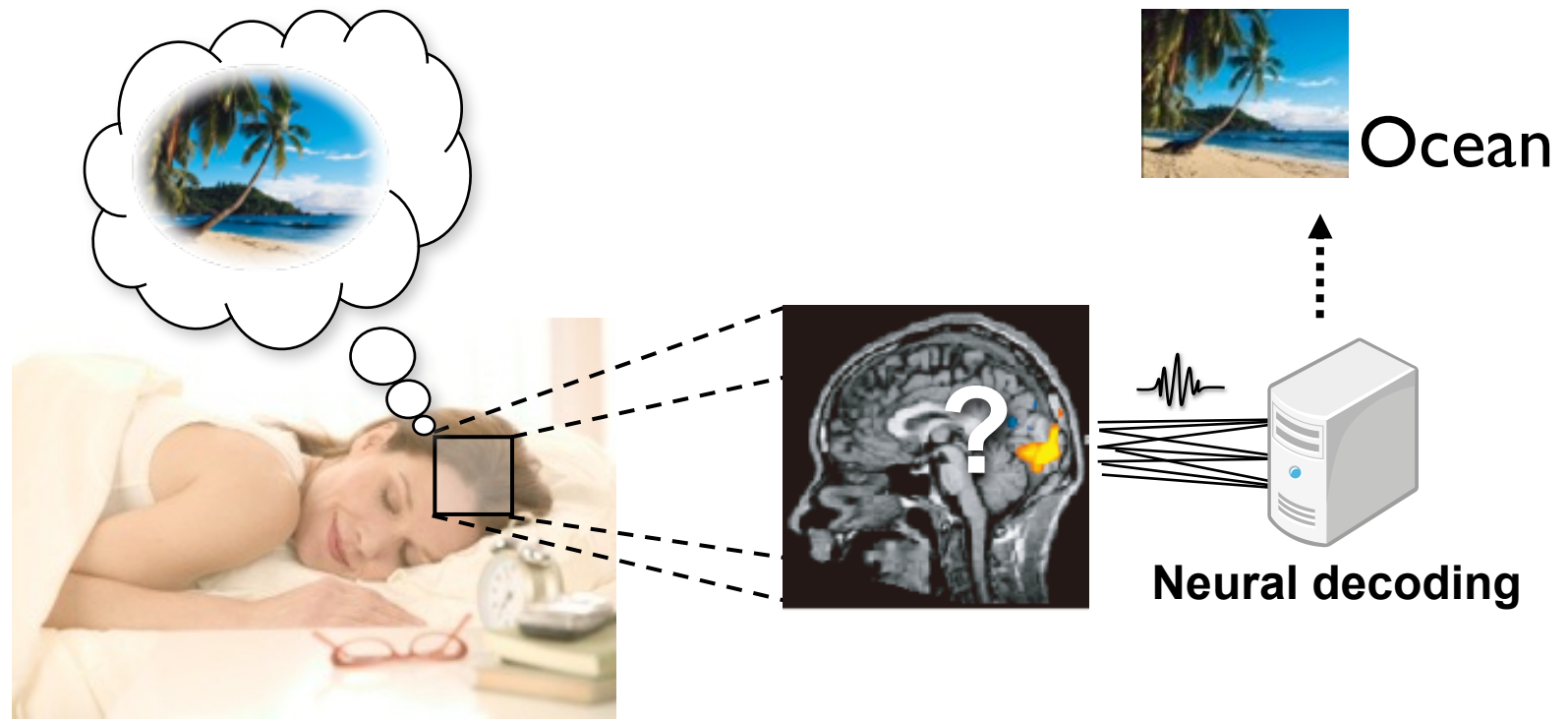
# ニューラル・マインド・リーディング



知覚と想起（イメージ）に共通する脳情報表現を利用

(Kamitani and Tong, 2005, 2006; Stokes et al., 2009; Harrison et al., 2009)

# 夢の内容をデコードできるか？

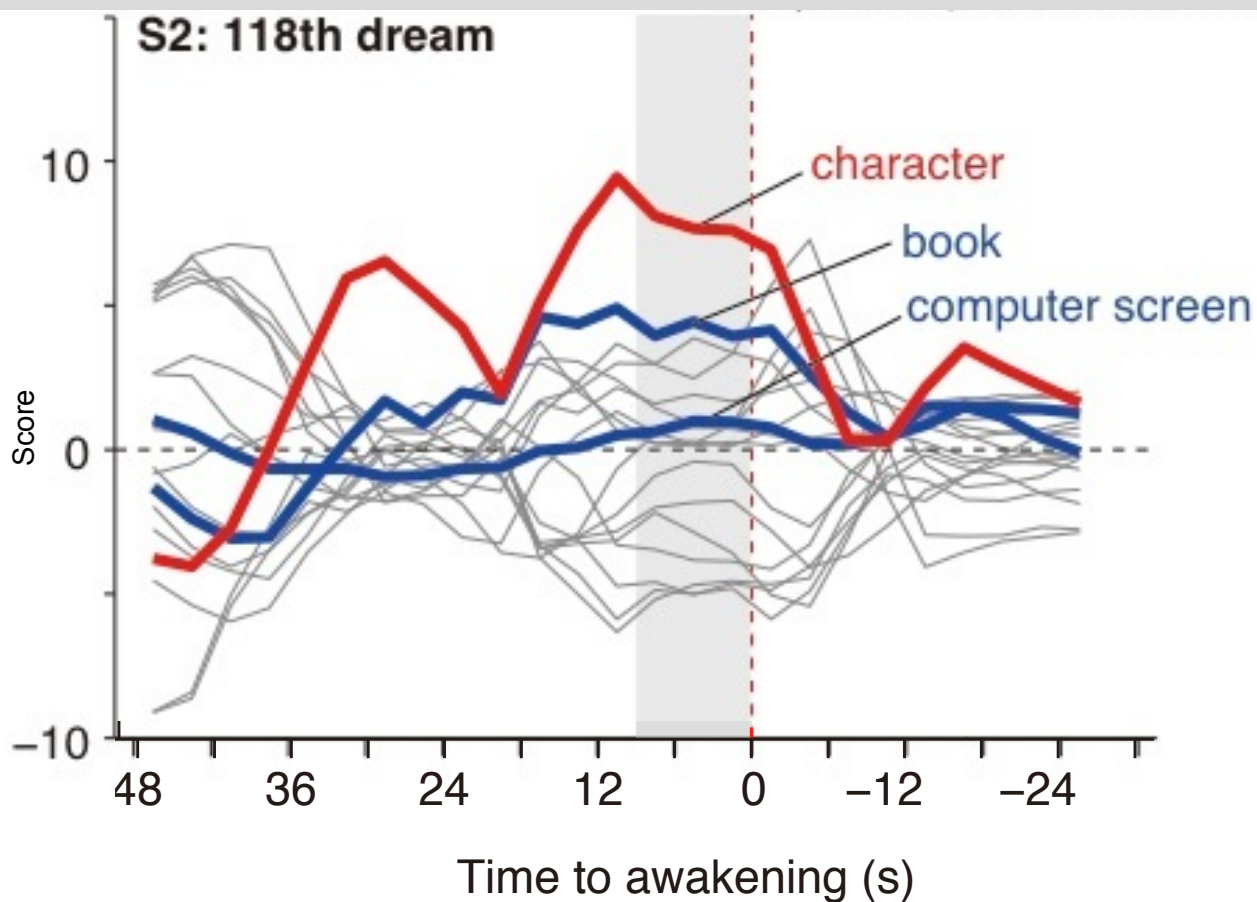


(Horikawa, Miyawaki, Tamaki, Kamitani, *Science* 2013)

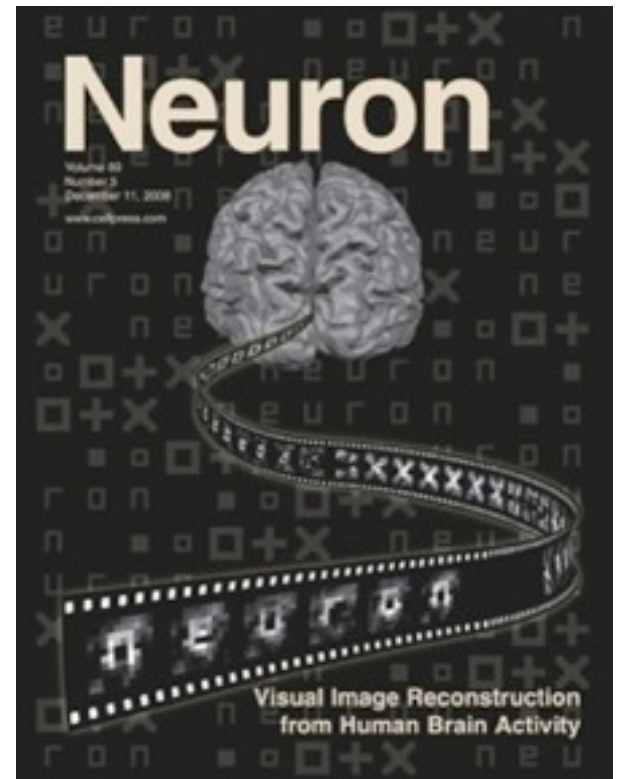
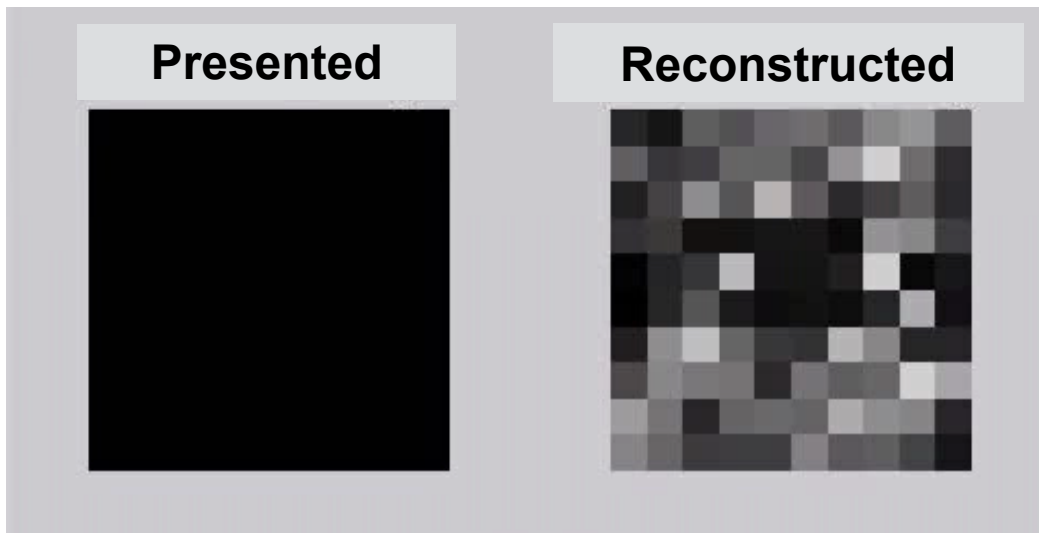
# Protocols of the sleep experiment

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

「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..」



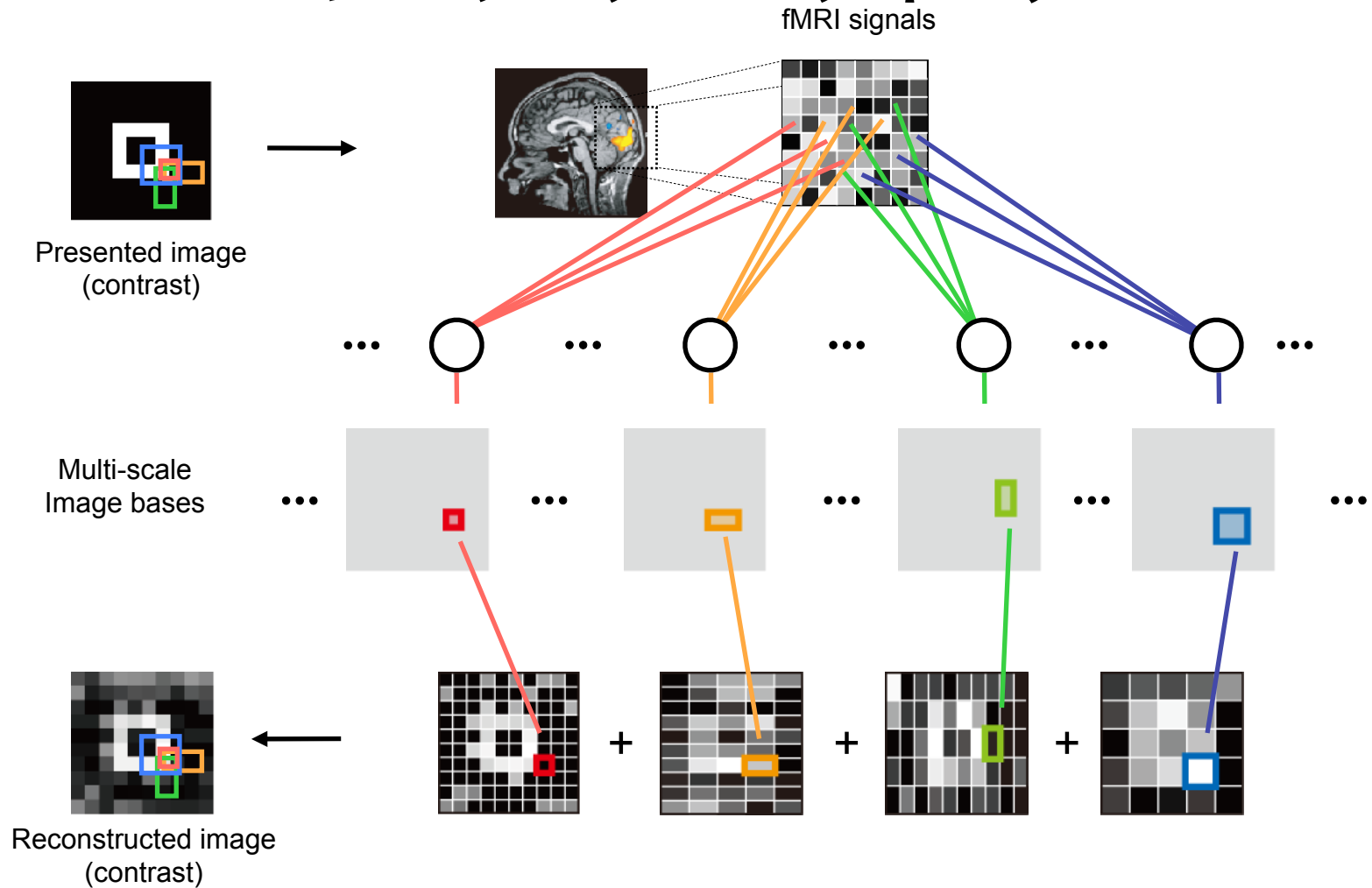
# 視覚像再構成



(Miyawaki, Uchida, Yamashita, Sato, Morito, Tanabe, Sadato, Kamitani, *Neuron* 2008)



# 局所コントラストの組み合わせによる モジュラーデコーディング



**Training: ~400 random images**

**Test: Images not used in training (arbitrary images;  $2^{100}$ )**



ピックアップ

円周率割り切れる

上上下下左右左右BA

自動運転車、運転手置き去り多発

社会

政治

経済

スポーツ

国際

科学

虚構新聞 > 科学 > 科学

Kyoko Shimbun 2008.12.16 News

ツイート

いいね! 5

Pocket 2

G+

B! 2

## 脳内画像読み取り成功 「脳内彼女」も再現 これは嘘ニュースです



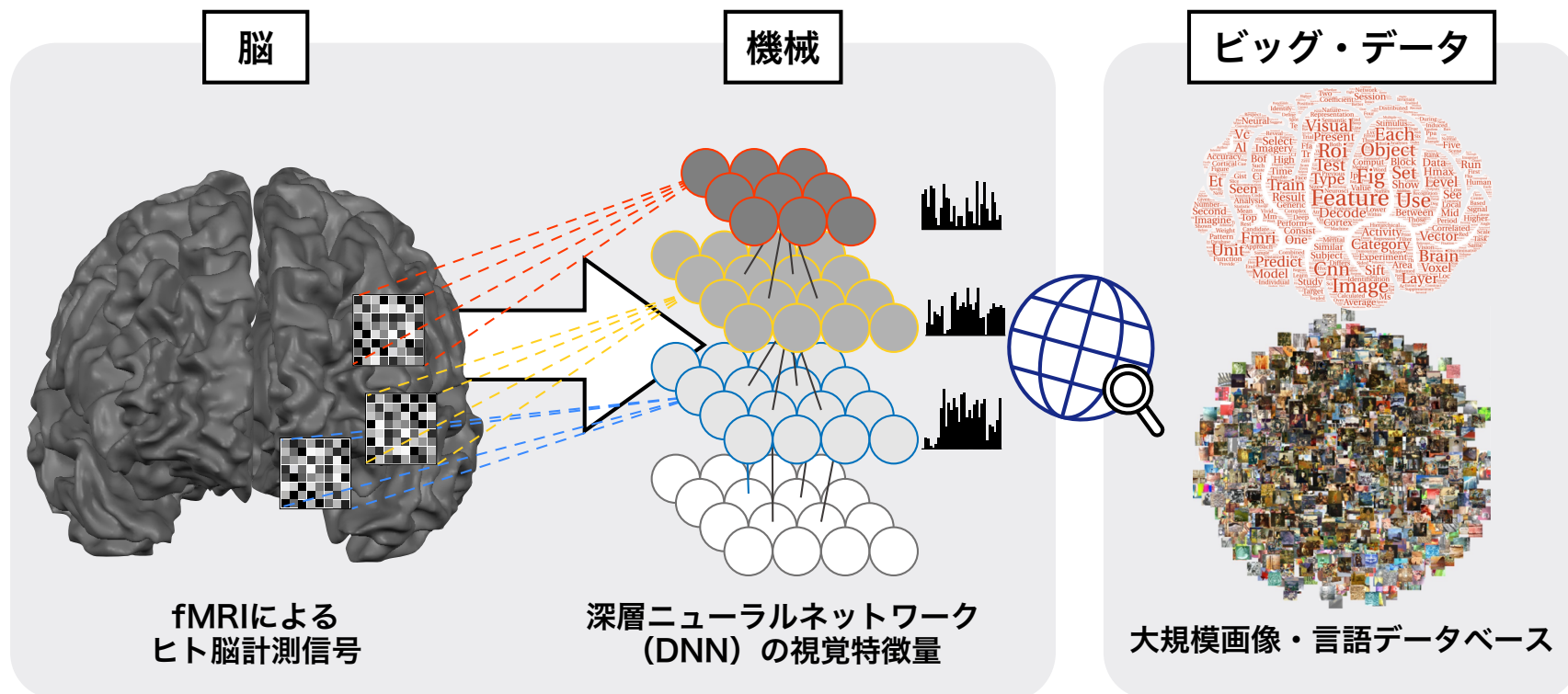
コンピュータ上に出力された「脳内彼女」

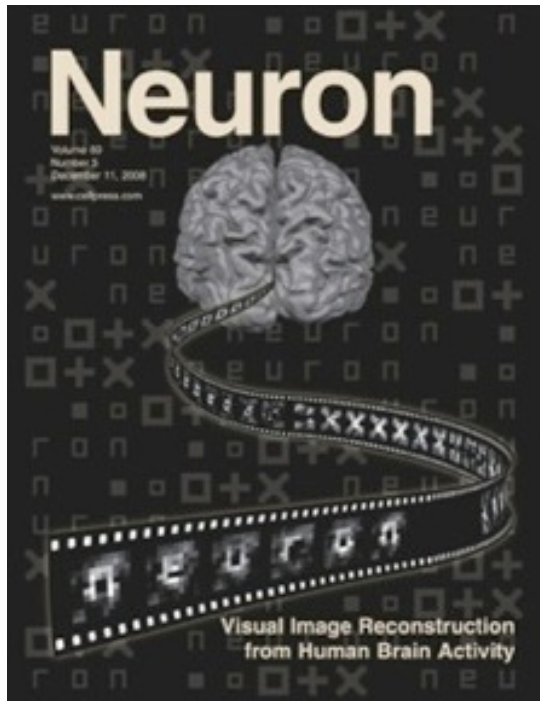


大脳にある視覚野の活動信号をコンピュータで読み取り、再び画像として出力する実験に京都古都大学理学部の研究チームがはじめて成功した。先日、国際電気通信基礎技術研究所（ATR）の研究チームが図形や文字の画像化に成功したばかりだが、今回はそれをさらに発展させ、より複雑な画像をカラーで再現している。

人がものを見るとき視覚情報は、大脳後部にある視覚野という領域で処理される。ATRの実験では被験者に白黒の単純な画像を見せ

# 「大きな脳のモデル」としてのAI

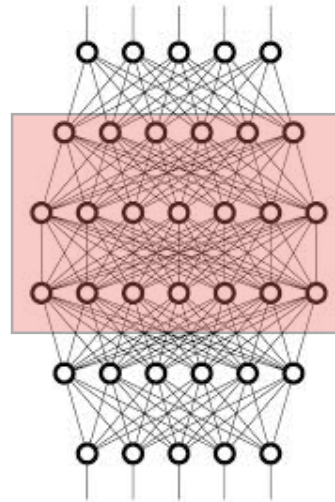




局所コントラストの  
組み合わせによる視覚像再構成  
(*Neuron*, 2008)

低次表現

DNN

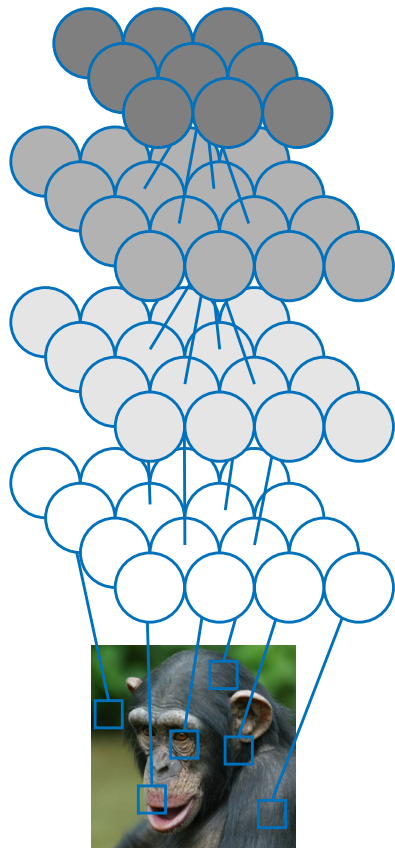
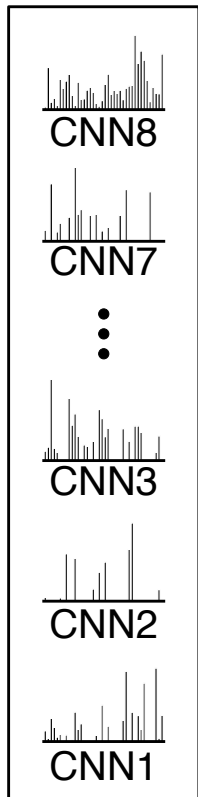


夢の意味的情報の解読  
(*Science*, 2013)

高次表現

# 深層ニューラルネットワーク

Deep neural network [DNN], Convolutional neural network [CNN]



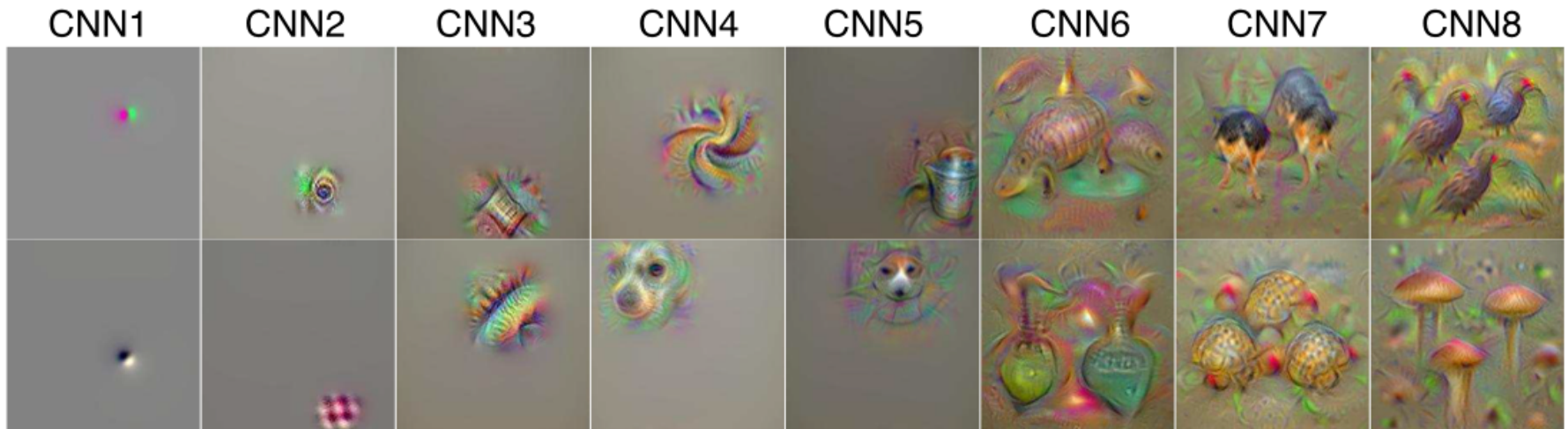
Optimization of an image



→  
optimize  
with prior



**Preferred image computed for each CNN unit**

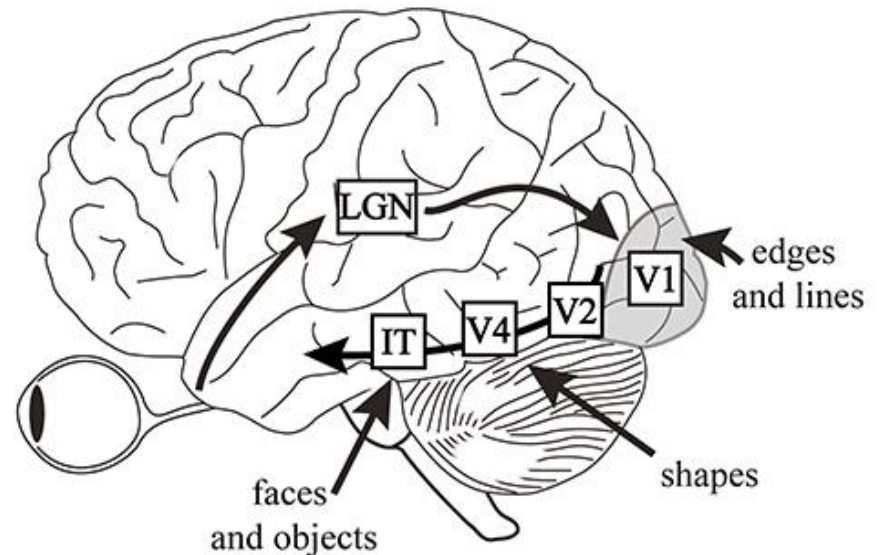


**Critical features for neurons in each area**

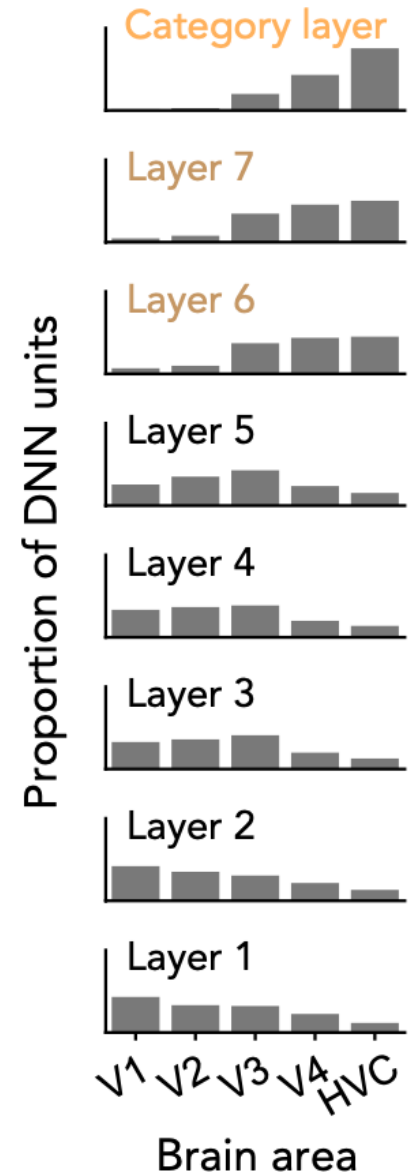
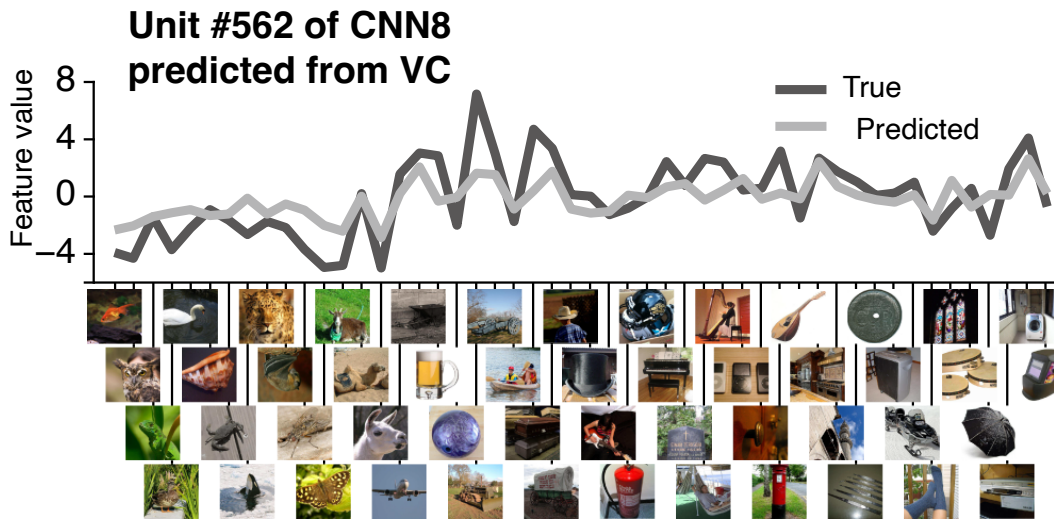
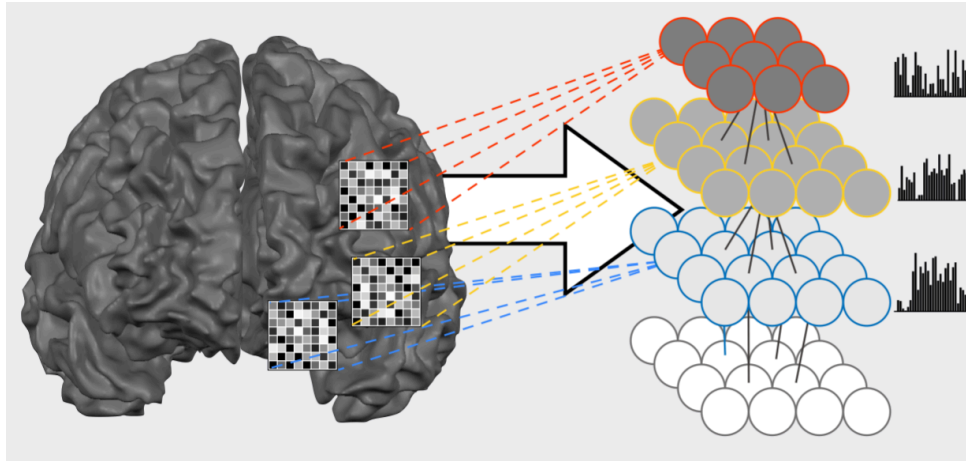
V2	V4	pIT	aIT

Kobatake & Tanaka, 1994

(Horikawa, Kamitani, *Nature Communications* 2017)



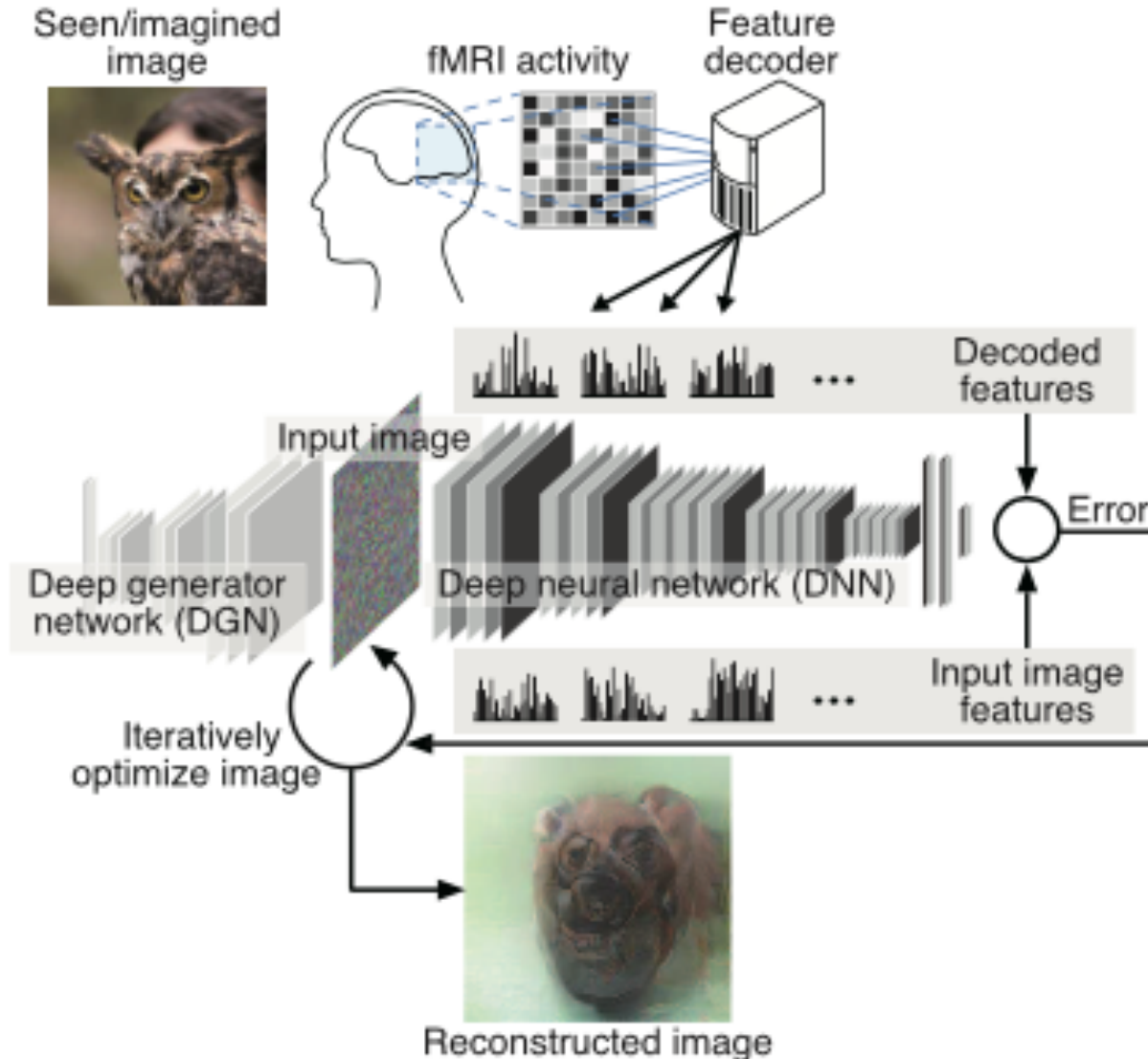
# 脳からDNNへの信号の翻訳



(Horikawa and Kamitani, *bioRxiv* 2015, *Nature Communications* 2016  
Nonaka et al., *bioRxiv* 2020)

# 深層イメージ再構成

(Shen, Horikawa, Majima, Kamitani, bioRxiv 2017)





「意識の核の映像化です。そんなことはこれまでに誰もやったことがない。不可能だったからです。私が可能にした。どうやったと思います？」

「わかりませんね」

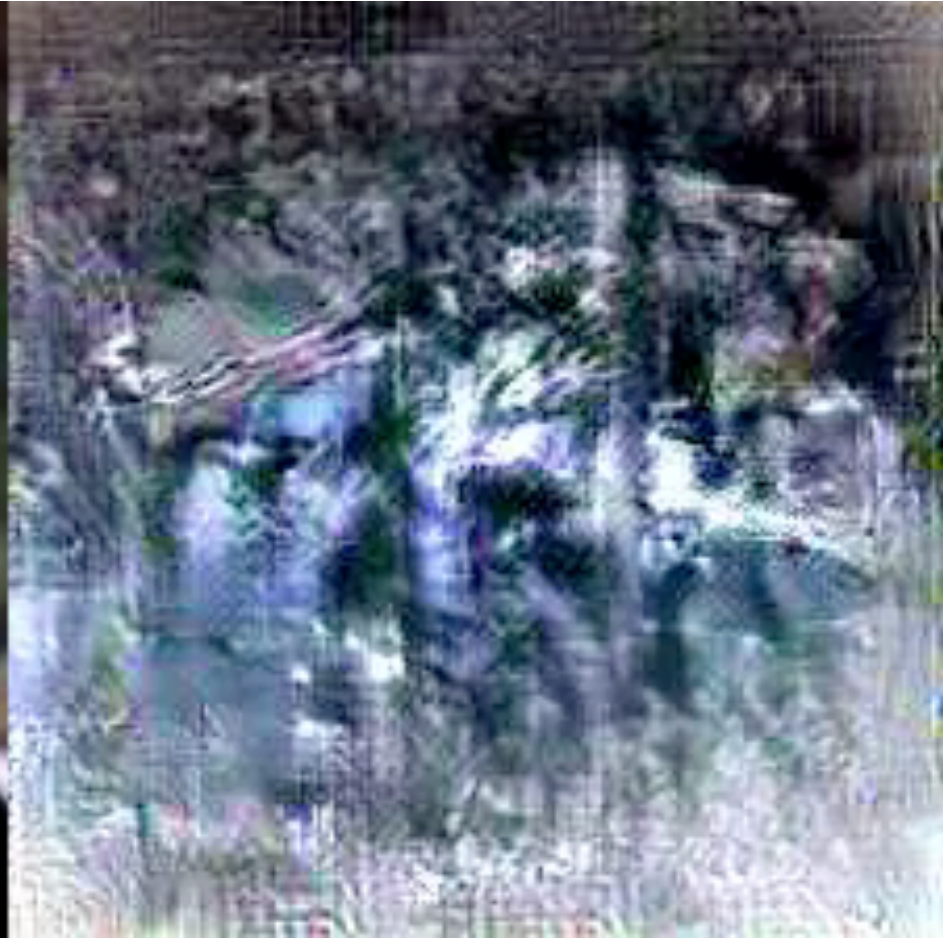
「被験者に何かの物体を見せ、その視覚によって生じる脳の電氣的反応を分析し、それを数字に置きかえ、それからまたドットに置きかえます。最初はごく単純な図形しか浮かびあがってこないが、何度も補整し、細部をつけ加えていくうちに、それは被験者が見たとおりの映像をコンピューター・スクリーンに描きだす。口で言うほど簡単な作業ではないし、とてつもない手間と時間がかかるですが、簡単に言っちゃえばそうなりませぬ。そして何度も何度もそれをかさねていくうちに、コンピューターはパターンをのみこんで脳の電氣的反応から自動的に映像を映し出すようになってくるわけです。コンピューターというのは実に可愛いものですね。こちらが一貫した指示を出す限り、必ず一貫した仕事をやるですよ。」

# 世界の終りと ハードボイルド ワンダーランド



村上春樹

新潮社



ReconProcess\_pair\_godCol\_8sGDGANrelu7gen\_all\_fps40











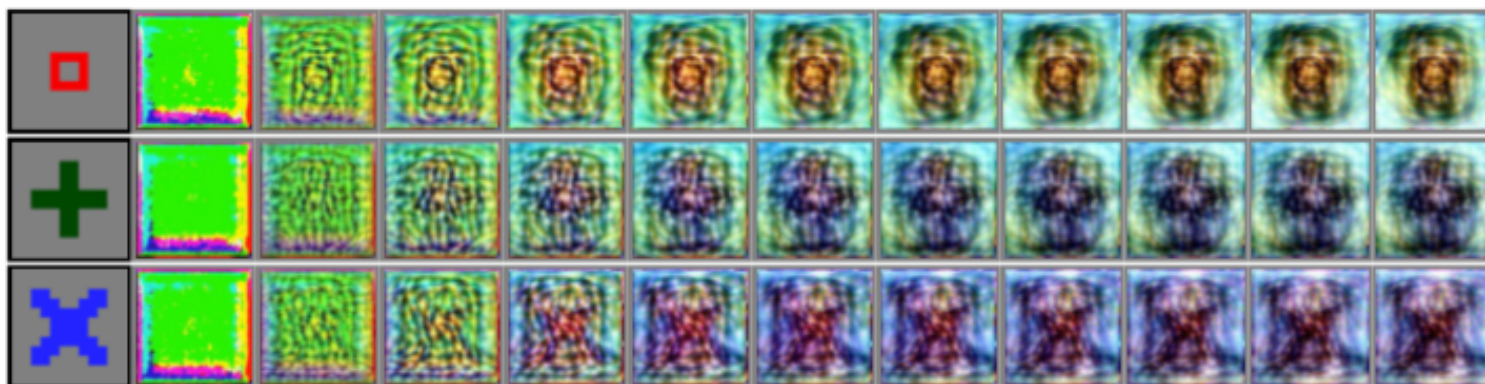




# 想起

Imagined

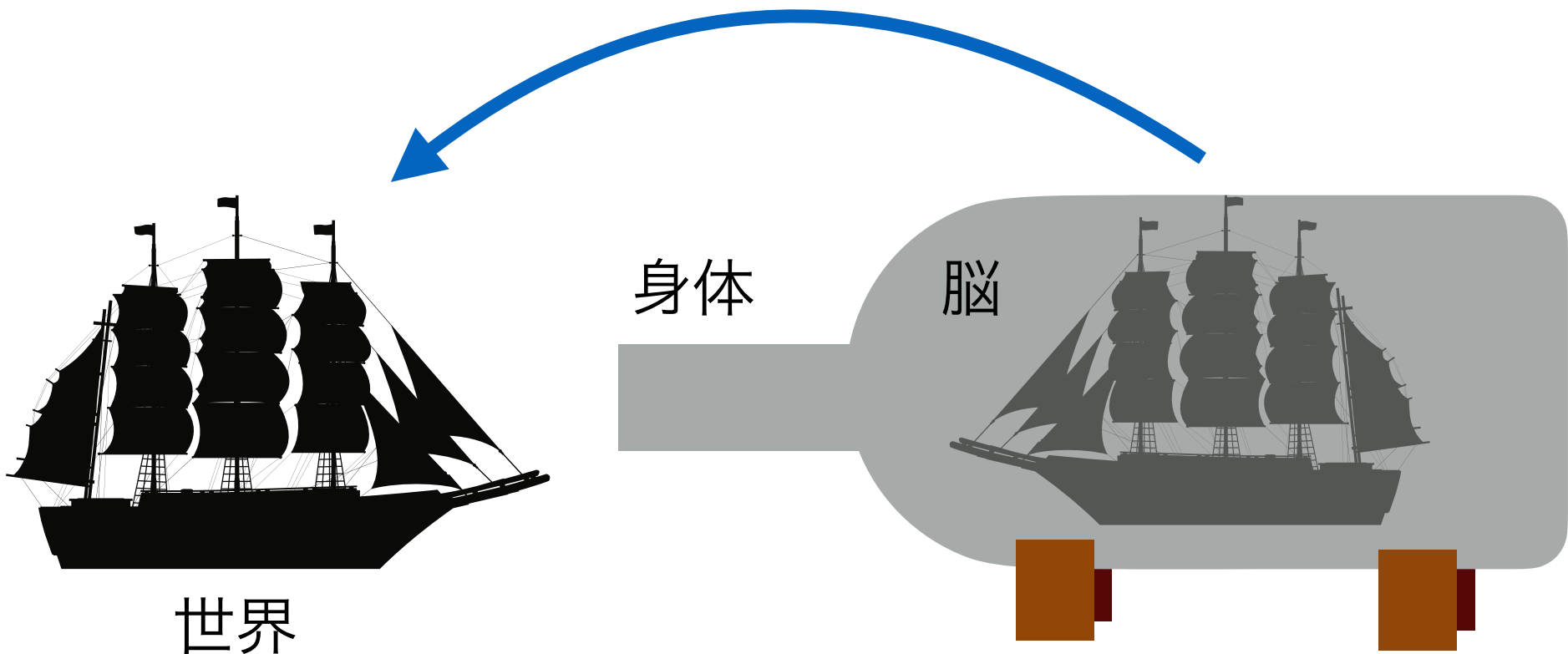
Reconstruction



# 注意



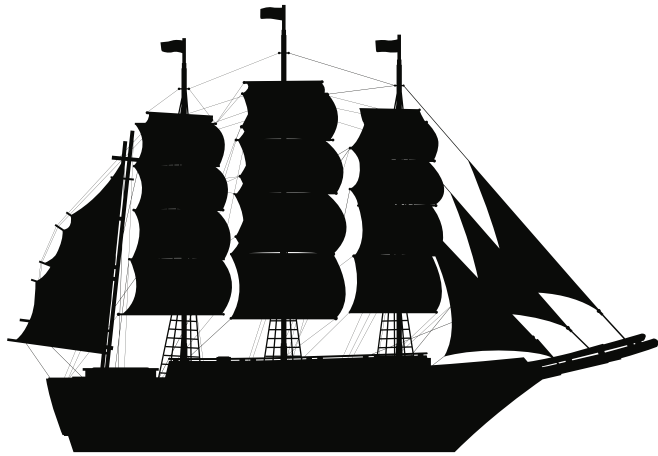
(Horikawa, Kamitani, CCM 2019)



**ブレイン・デコーディング**

**= 身体を介さず「ニューロバース」を外在化**

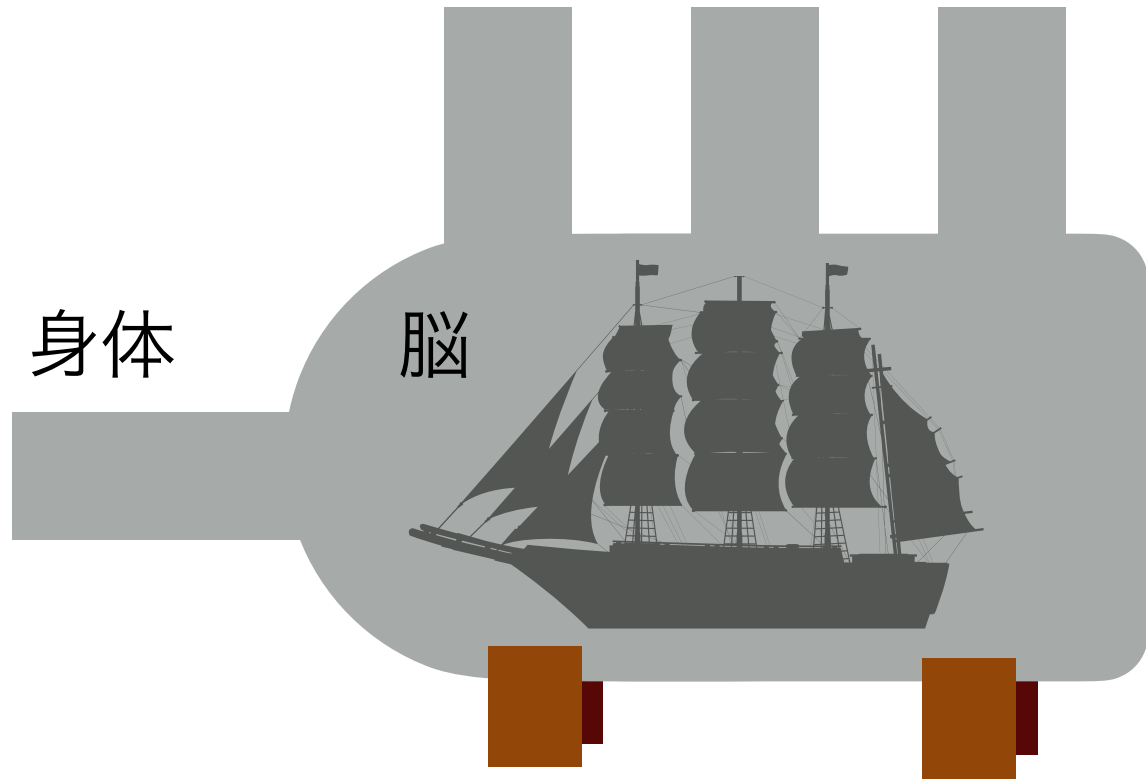
BMI



世界

身体

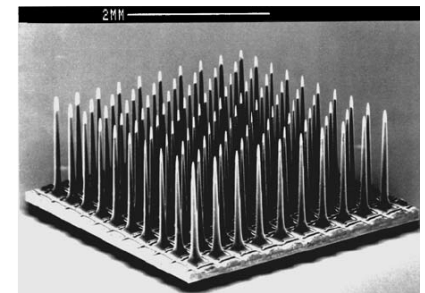
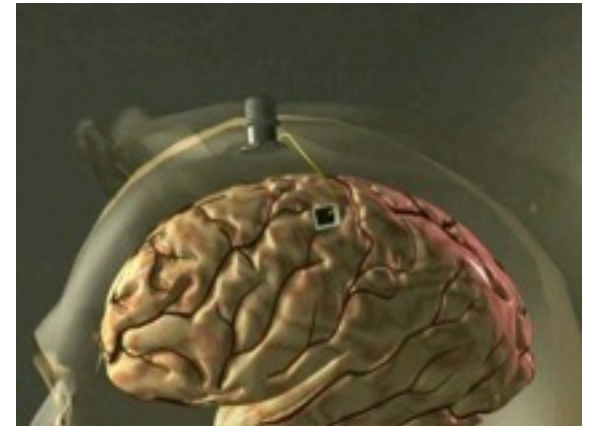
脳



**ブレイン-マシン・インターフェース (BMI)**

**= 脳と世界をリアルタイムにつなぐ身体以外のチャンネル**

# ブレイン-マシン・インターフェース (BMI)



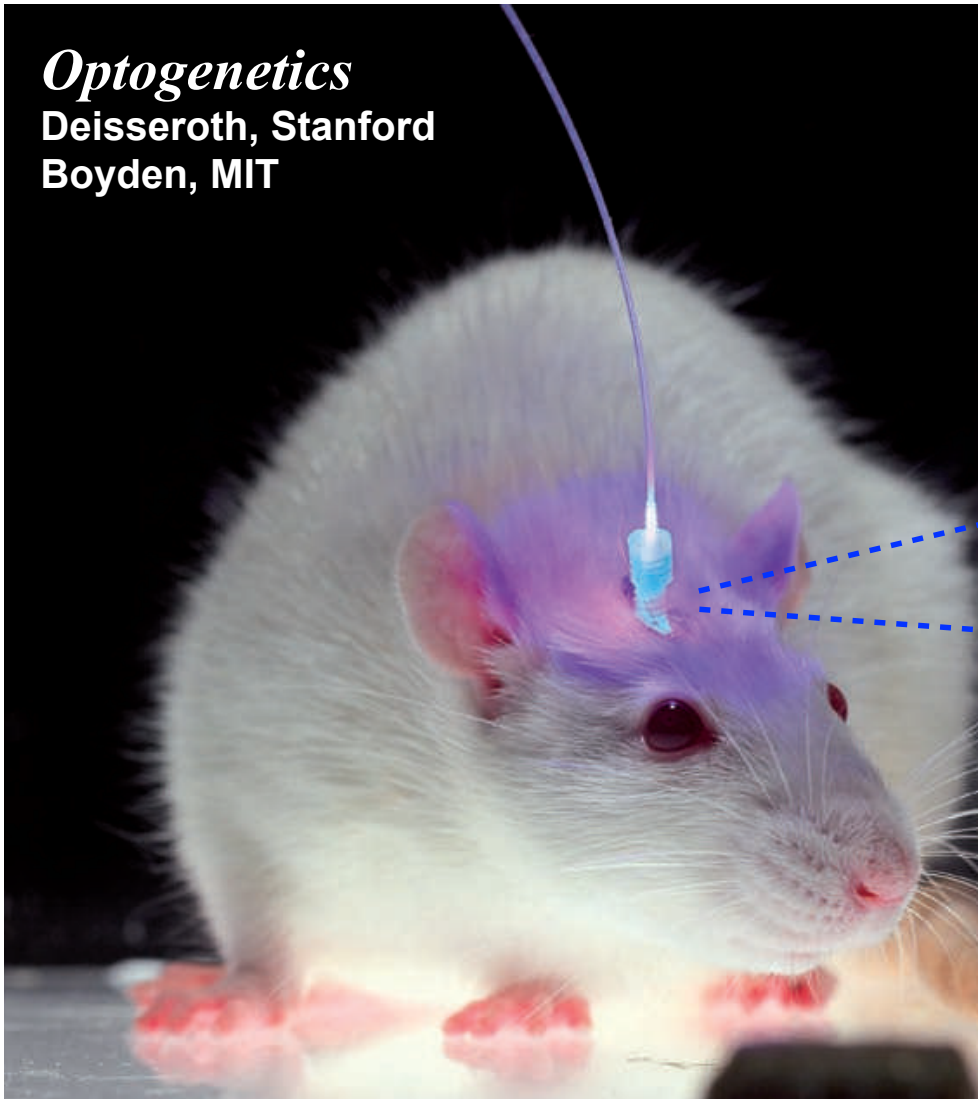
Hochberg, L. R. et al. Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia. *Nature* **442**, 164-171 (2006).





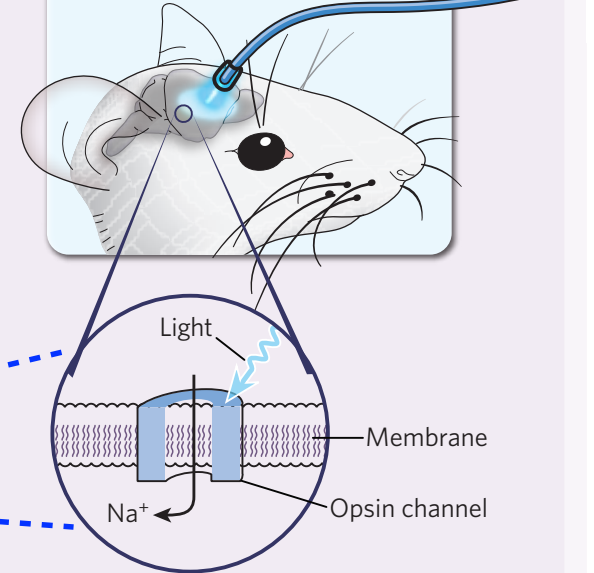
<https://www.youtube.com/watch?v=rsCul1sp4hQ>

# 脳に情報を書き込む技術



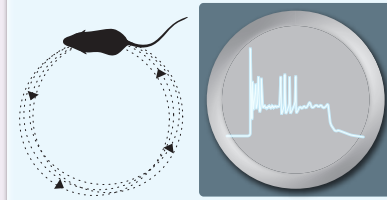
## STEP 5

Laser light of specific wavelength opens ion channel in neurons.



## STEP 6

Record electrophysiological and behavioural results.

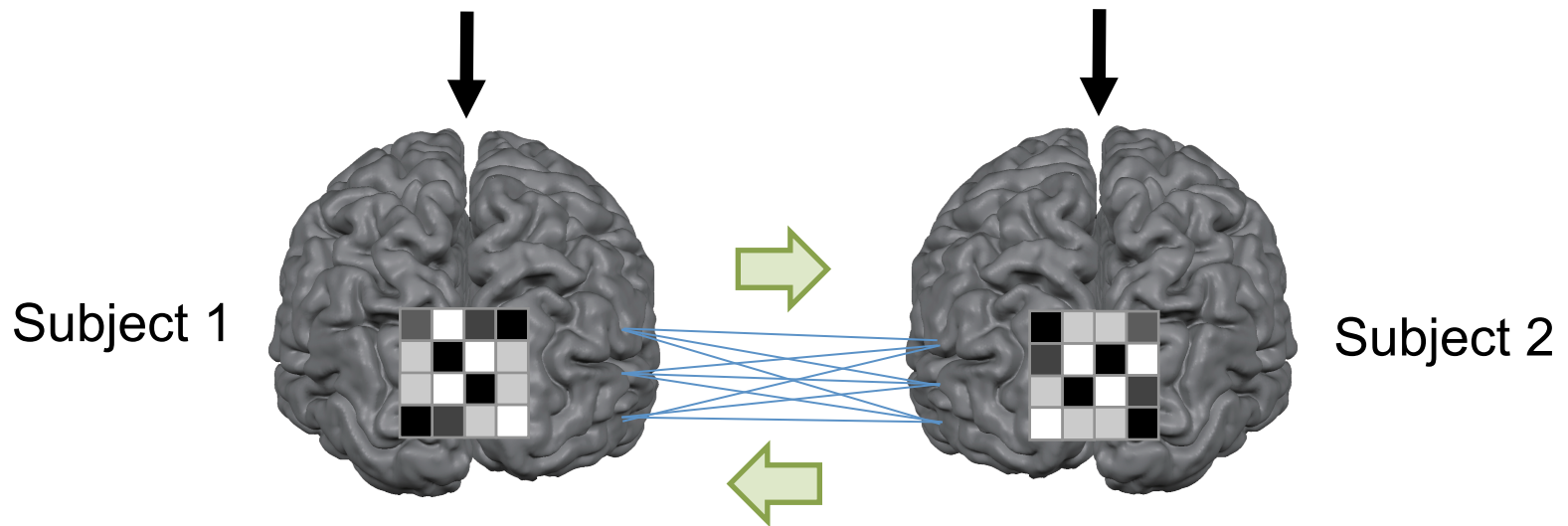


(Buchen, 2010)

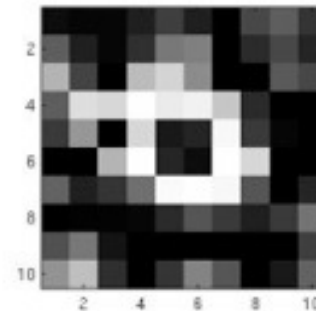
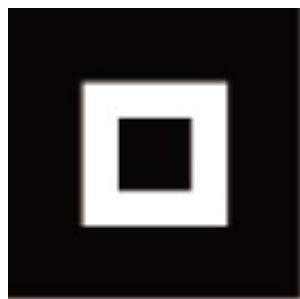


# 「脳コード変換器」

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



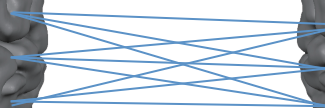
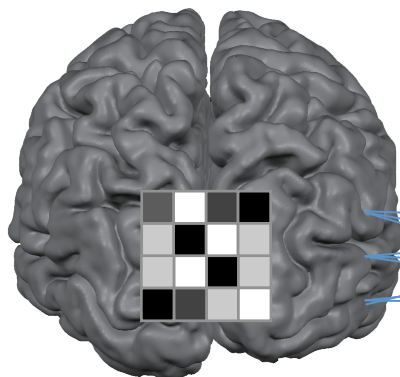
個人間で異なる脳活動パターン（脳コード）を変換



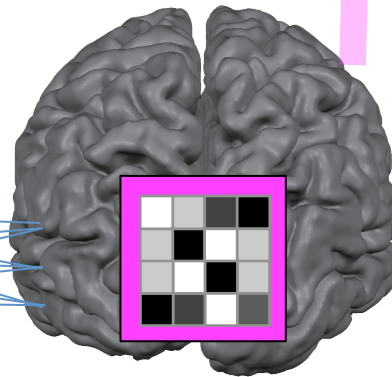
変換された脳活動  
からの再構成



Subject 1



変換

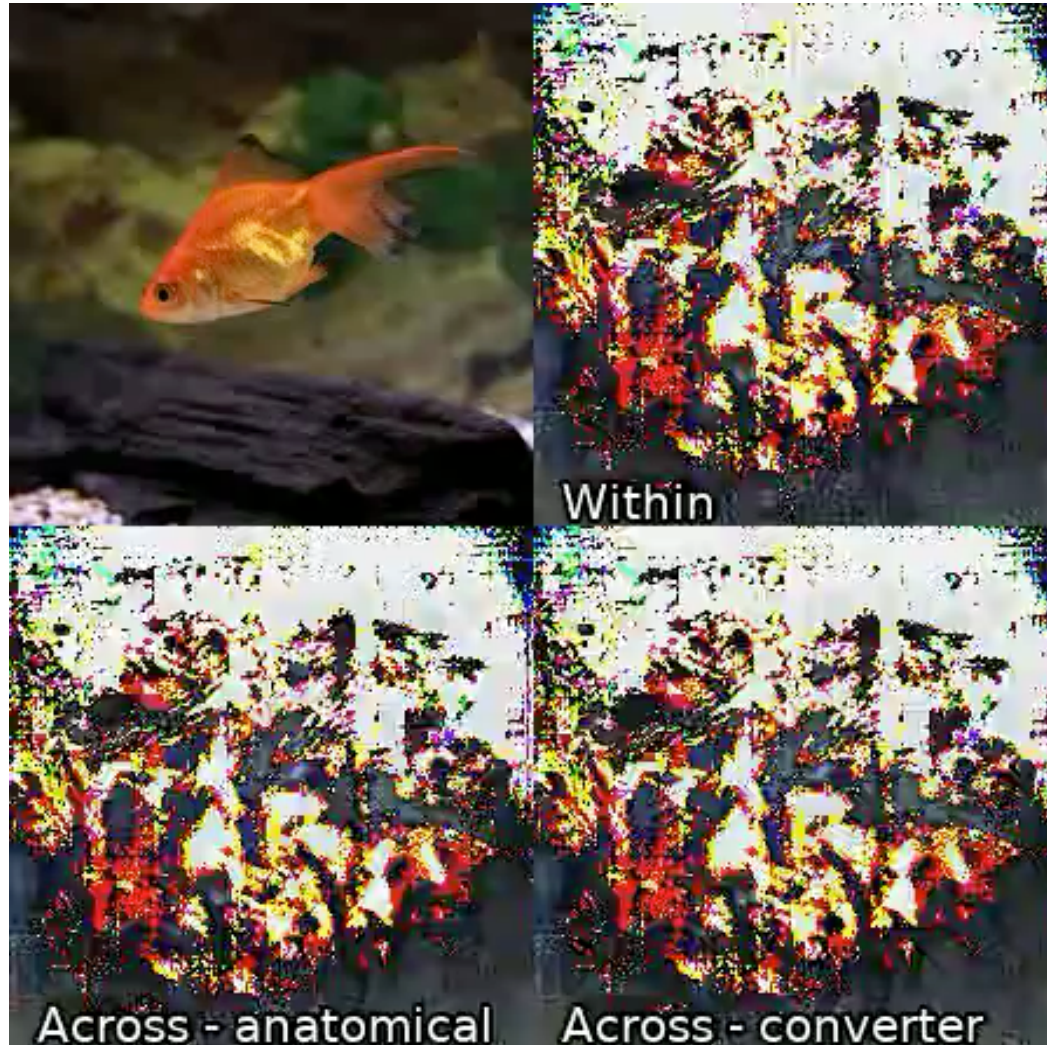


Subject 2



変換脳活動パターンで脳刺激→脳-脳通信？

# 個人間視覚像再構成



(Ho, Horikawa,  
Majima, Kamitani,  
in preparation)

**BBC** GLASTONBURY

**SQUID**  
THE PARK  
SATURDAY- 16:45 - 17:45

Watch on **iPLAYER** Listen on **SOUNDS**



Bright Green Field  
54467

Squid

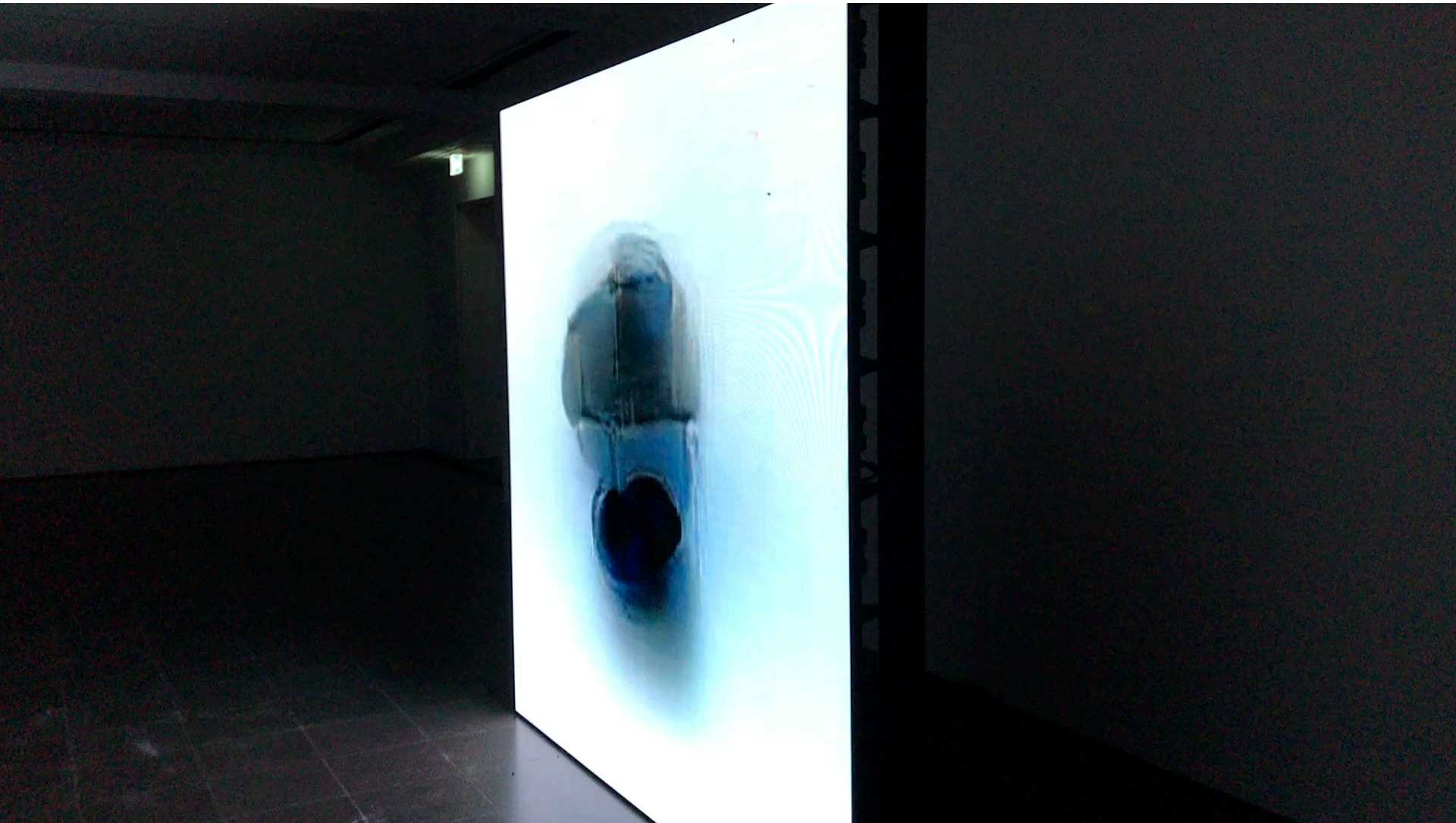
- 1. [Track Name]
- 2. [Track Name]
- 3. [Track Name]
- 4. [Track Name]
- 5. [Track Name]
- 6. [Track Name]
- 7. [Track Name]
- 8. [Track Name]
- 9. [Track Name]
- 10. [Track Name]



# Pierre Huyghe 'Umwelt'

Serpentine Gallery, London (3 Oct 2018 – 10 Feb 2019)





**Umwelt = Un-Umwelt**

# Umwelt=環世界とは

## 生物から見た世界

ユクスキュル/クリサート 著

日高敏隆・羽田節子 訳



甲虫の羽音とチョウの舞う。花咲く野原へ出かけよう。生物たちが独自の知覚と行動でつくりだす<環世界>の多様さ。この本は動物の感覚から知覚へ、行動への作用を探り、生き物の世界像を知る旅にいざなう。行動は刺激に対する物理反応ではなく、環世界あつてのものだと唱えた最初の人ユクスキュルの、今なお新鮮な科学の古典。



青 943.1  
岩波文庫



フォン・ユクスキュル



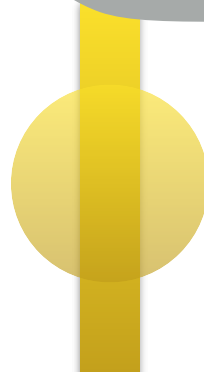
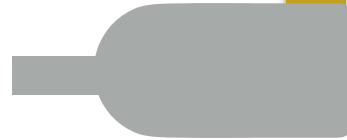
# Umwelt = Un-Umwelt



ヒト



ハエ



# まとめ

**独特の仕方でコードされた脳内世界モデル = 「ニューロバース」**

## **「ニューロバース」の外在化**

- ブレイン・デコーディングによる脳内イメージの解読
- 脳-機械信号変換
- ブレイン-マシン・インターフェース (BMI)

## **「ニューロバース」の共有**

- 脳コード変換と脳-脳通信
- 脳を介したアート

# 質問

- 視覚以外の感覚、感情、言語、思考、記憶、無意識
- 脳への書き込み
- 個人差
- 夢に色はあるのか
- 言葉は不要になるか
- 脳の仕組みの理解
- 応用の展望（医療・情報通信）
- 倫理問題