

脳情報通信融合研究 ～研究の現状と情報通信への展開～

大岩 和弘

情報通信研究機構 神戸研究所
未来ICT研究センター

情報通信技術における課題

大規模ネットワーク制御

- データ流通量の爆発的な増大による消費エネルギーの増大
- 高度に複雑化したネットワークの厳密制御の限界

コミュニケーション

- データ量の氾濫によるストレス
- 意味のある情報とデータの区別がない
- 人間の脳の仕組みや能力に調和していない

脳科学と情報科学との融合研究で解決

脳の機能の解明とその応用を通じて ICTの大きな発展が期待できる

巨大で複雑なネットワークである脳は
低消費エネルギーで不測の事態にも柔軟に対応、ひらめきによる情報の補完もできる

脳情報通信融合研究

● 脳情報通信融合研究とは

脳のメカニズムの解明とその応用を通じて
情報通信の革新的な発展に向けた技術ブレークスルーを目指す
工学的アプローチ

1 インタフェース技術としての脳情報通信技術
知覚、認識、感情、運動意図等に対応する
脳活動の計測を応用

Brain-Machine
Interface

2 情報のわかりや情動など 人と人との
コミュニケーションを脳機能から研究

Heart to Heart Science

視覚、聴覚等を介さない新たな情報通信インタフェースの可能性
真に伝えたいことを伝えることができるように 情報通信の質に注目した技術

脳情報通信融合研究

● 脳情報通信融合研究とは

脳のメカニズムの解明とその応用を通じて
情報通信の革新的な発展に向けた技術ブレークスルーを目指す
工学的アプローチ

3 脳に学ぶ情報通信技術

膨大な神経細胞からなる巨大・複雑ネットワーク
である脳に 情報制御等のメカニズムを学び
情報通信システム等に応用

Brain-Function installed
Information Network



巨大化する情報通信ネットワークの効率化(低消費電力化等)や
自律性(自己修復機能等)賦与の可能性

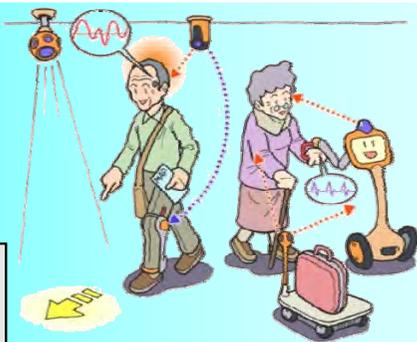
脳情報通信融合研究の研究テーマ

BMI

脳と機械が通信する
Brain-Machine Interface



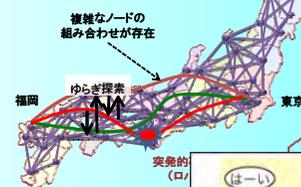
自動運転システム
危険察知システム
テーラーメイドICT



心象イメージイラストレータ
内語タイプライタ

BFI
network

脳・生体機能で
ネットワークを飛躍的に
高度化する
Brain-Function Installed
Information Network



HHS

伝えたい・知りたいを
伝える以心伝心
コミュニケーション
Heart to Heart Science



脳機能計測技術の高精度化・高機能化・小型化



現在

5年後

10年後

15年後

20年後

脳情報通信融合研究

4/22

NICT 4



こころを機械に伝える技術

インタフェース技術としての脳情報通信技術

知覚、認識、感情、運動意図等に対応する脳活動の計測を応用

脳計測

ヒトの脳活動の計測技術

非侵襲計測技術

局所的血流量
変化計測
脳活動の盛んな
部位を特定

fMRI

(機能的磁気共鳴画像法)
高空間分解能 (ミリメートル)



空間分解能

高磁場化による
時空間分解能向上

神経の電氣的活動に
伴って生じる微弱な
磁場変化

MEG (脳磁界計測法)

高時間分解能 (ミリ秒)



時間分解能

NIRS (近赤外計測)

低拘束性・柔軟性

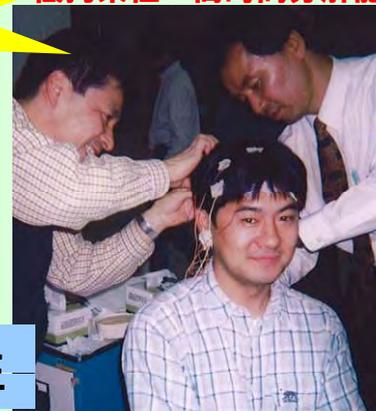


簡易性・可動性

計測データ・
手法の統合

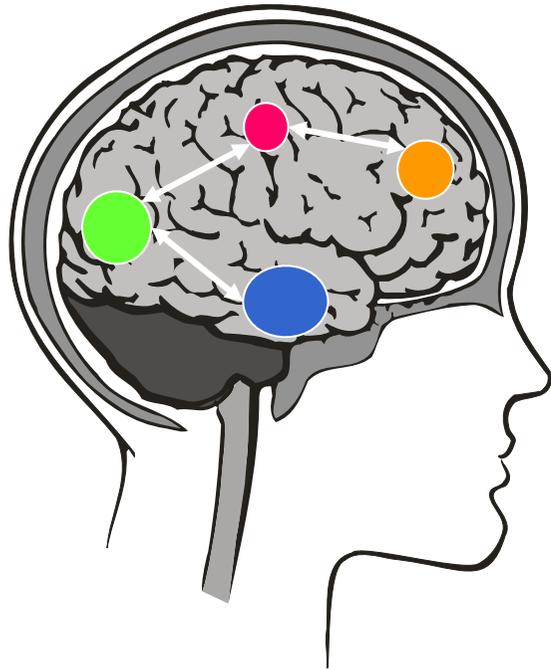
EEG (脳波計測法)

低拘束性・高時間分解能



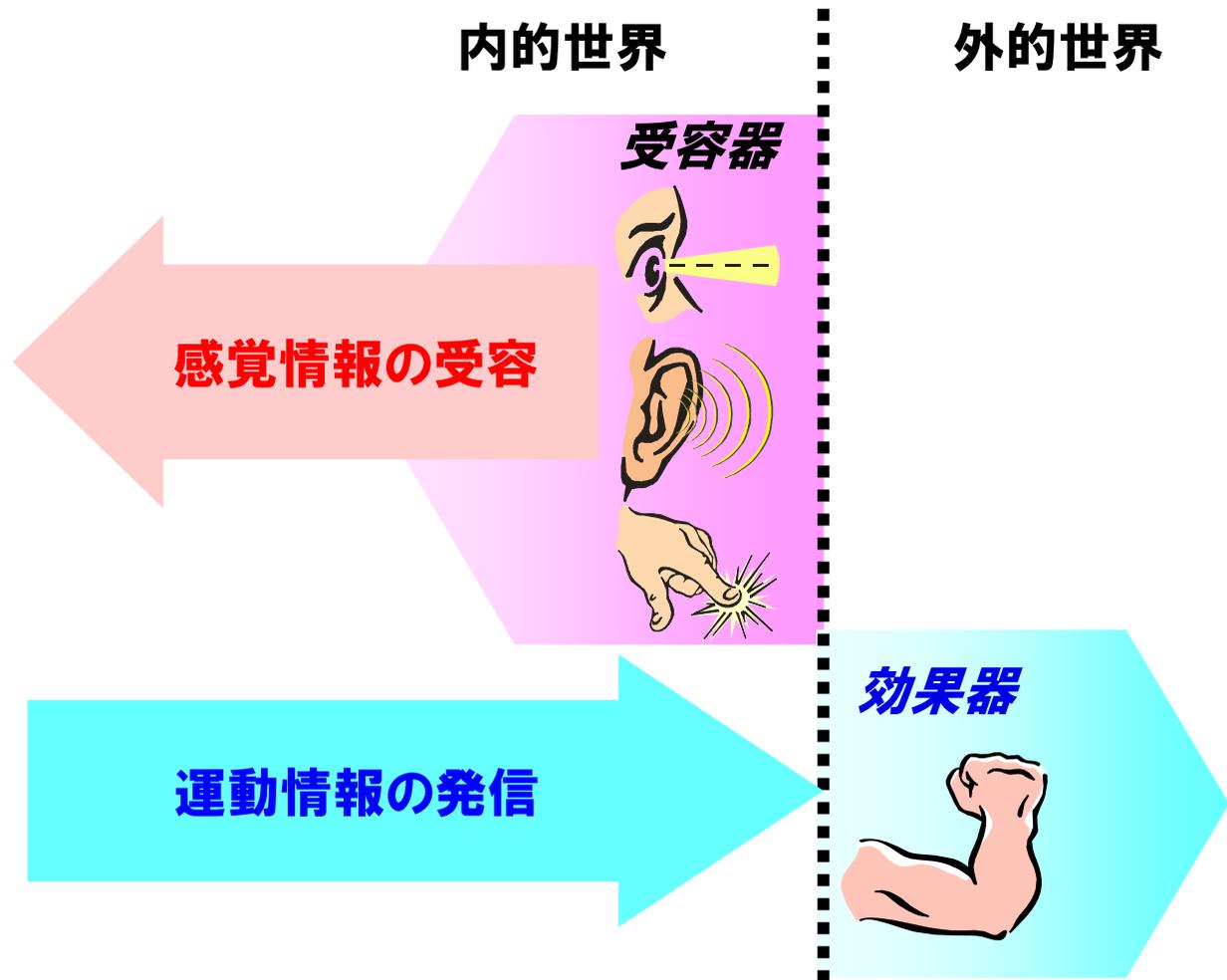
こころを機械に伝える技術

デコーディング技術



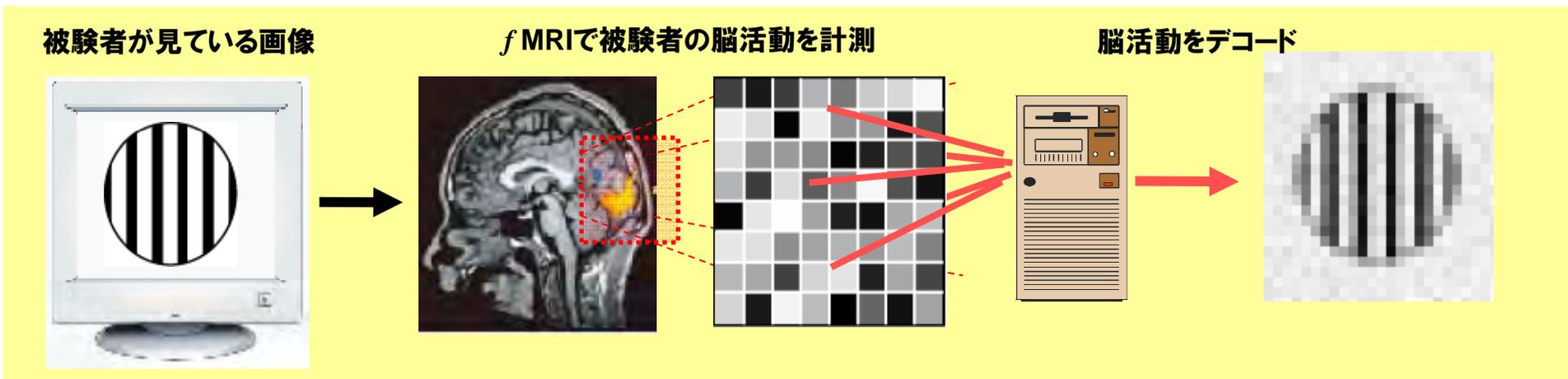
内的世界

外的世界





脳内情報の解読 fMRIデータからの視覚像の再構成



被験者が見ている画像



再構成画像 (平均)



国際電気通信基礎技術研究所(ATR)・NICT他との共同研究

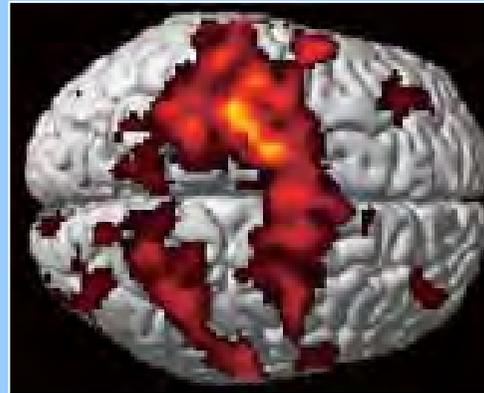
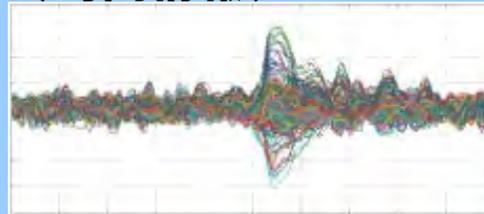


脳機能計測から指の動きをリアルタイムで再現する

非侵襲脳機能計測



MEG(時間情報)



fMRI(空間情報)

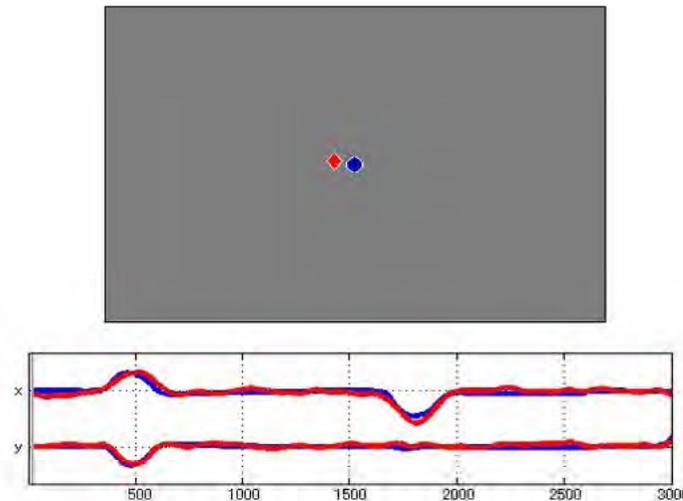
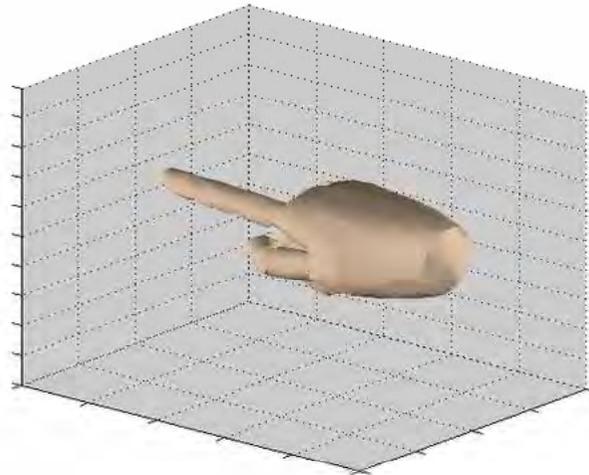
階層ベイズ推定法
スパース推定法

NICT と 国際電気通信基礎技術研究所(ATR)



脳機能計測から指の動きをリアルタイムで再現する

10cmの動きをほぼリアルタイムで誤差1.5cmで再現



情報の送り手の意図を脳活動から再構築する技術
離れた場所の機械を自分の体の一部のように使える: 身体空間の拡張技術

脳情報通信融合技術の実用化イメージ

ユーザーの心と体にやさしい情報・機械システムの実現

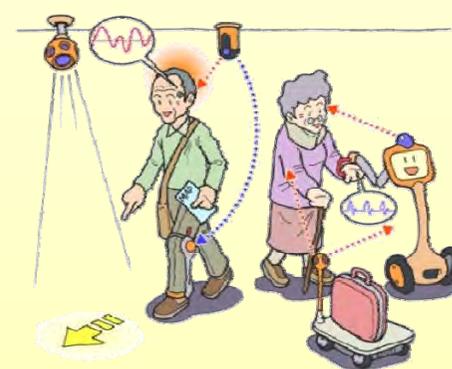


ヒューマンエラーを未然に防ぐ

ユーザーに合わせて、
負担を軽減する
情報インターフェース



人間の健全な成長を
助けるシステム



高齢者にも優しい
情報・機械システム



どこでも気兼ねなく
いつでも だれとでも
こころも繋ぐ情報通信



自動運転システム
危険察知システム
テーラーメイドICT



心の表現手段の拡大
イメージイラストレータ・内語タイプライター





脳に学ぶ情報ネットワーク技術

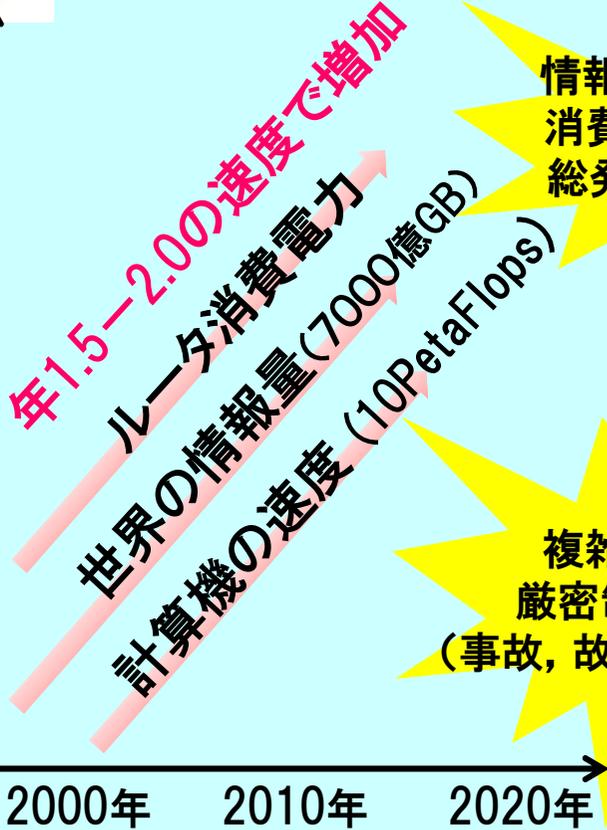
脳に情報制御等のメカニズムを学び 情報通信システム等に応用



脳に学ぶ情報ネットワーク技術

人工システム

消費電力・情報量・計算速度・集積度



情報ネットワークの消費エネルギーは総発電量の50% (2035年)

複雑化による厳密制御の破綻 (事故, 故障変動に脆弱)

先端技術

バイオシステム

ヒト脳

140億の神経細胞
 約50兆のシナプス
 制御すべき組合せの数
 10の15乗
 消費エネルギー
 脳:20ワット



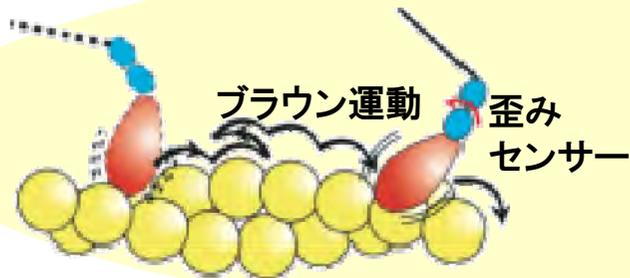
(計算機は10の15乗ワット)
不測の事態にも柔軟に対応

複雑システムを低エネルギーでロバストに制御する原理を持つ

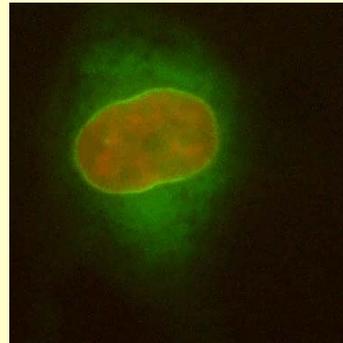
生物の原理

バイオシステム・脳機能原理を用いて計算量を桁違いに低減
省エネで、かつ不測の事態に柔軟に対応する高機能なネットワークの実現

分子機械から脳まで ゆらぎを使う生体システム



ゆらぎで動く分子モータ



ゆらぎを用いた
細胞の情報処理



脳の視覚認知

分子レベル

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial U(x,t)}{\partial x} B + \sqrt{\frac{2kT}{\rho}} \eta(t)$$

ポテンシャルカ バイアス 熱ゆらぎ

ゆらぎ方程式



全てのレベル

$$\frac{d}{dt} x = f(x) \cdot activity + \eta$$

アトラクタを持つ 最適化 自発ゆらぎ
制御構造 指標

一般化
ゆらぎ方程式

大阪大学 柳田ら



脳に学ぶ情報ネットワーク技術

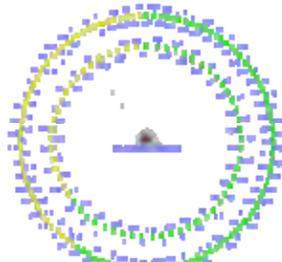
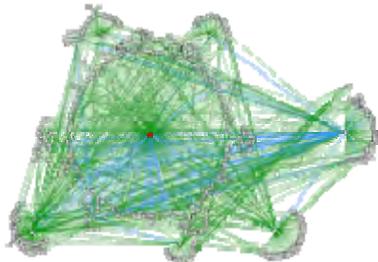
$$\frac{d}{dt}x = f(x) \cdot activity + \eta$$

アトラクタを持つ 最適化 自発ゆらぎ
制御構造 指標

$$\frac{dx}{dt} = \frac{s(activity)}{1 + \max(x)^2 - x^2} - d(activity)x + \eta$$

情報ネットワーク

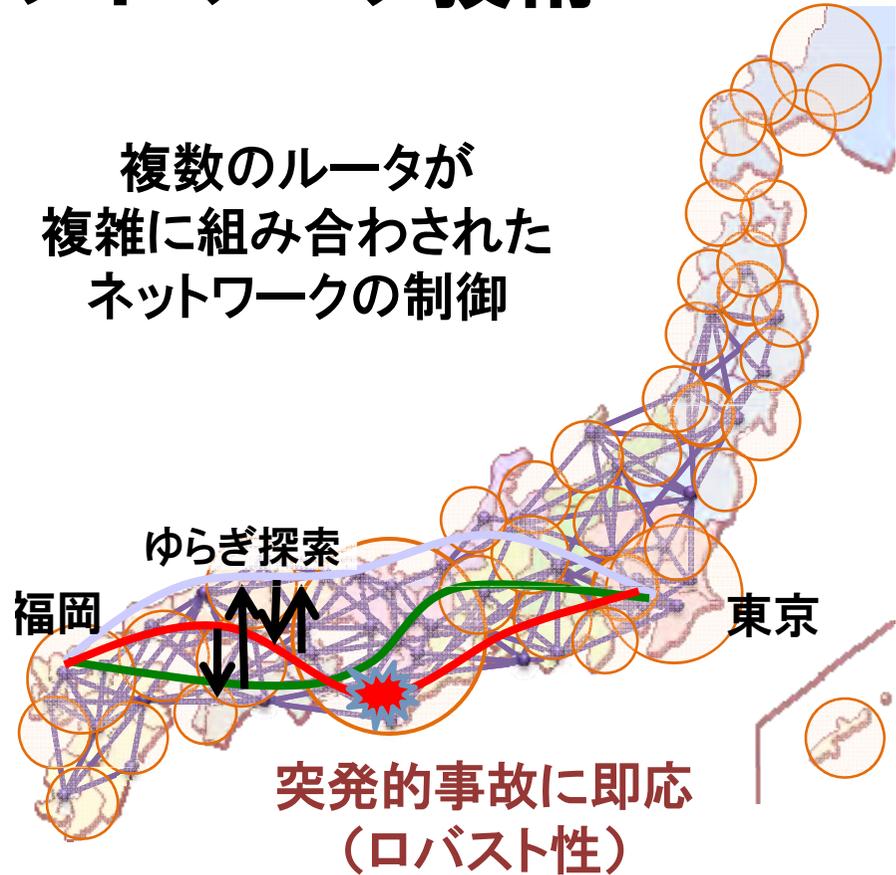
生物の代謝ネットワーク



$f(x)$ の設計方法を生体から学ぶ



複数のルータが
複雑に組み合わせられた
ネットワークの制御



準最適ルートを常にゆらぎで探索して、故障や事故で
状況が突然変わってもすぐに対応

超複雑システムのロバストかつ適応的な制御が可能

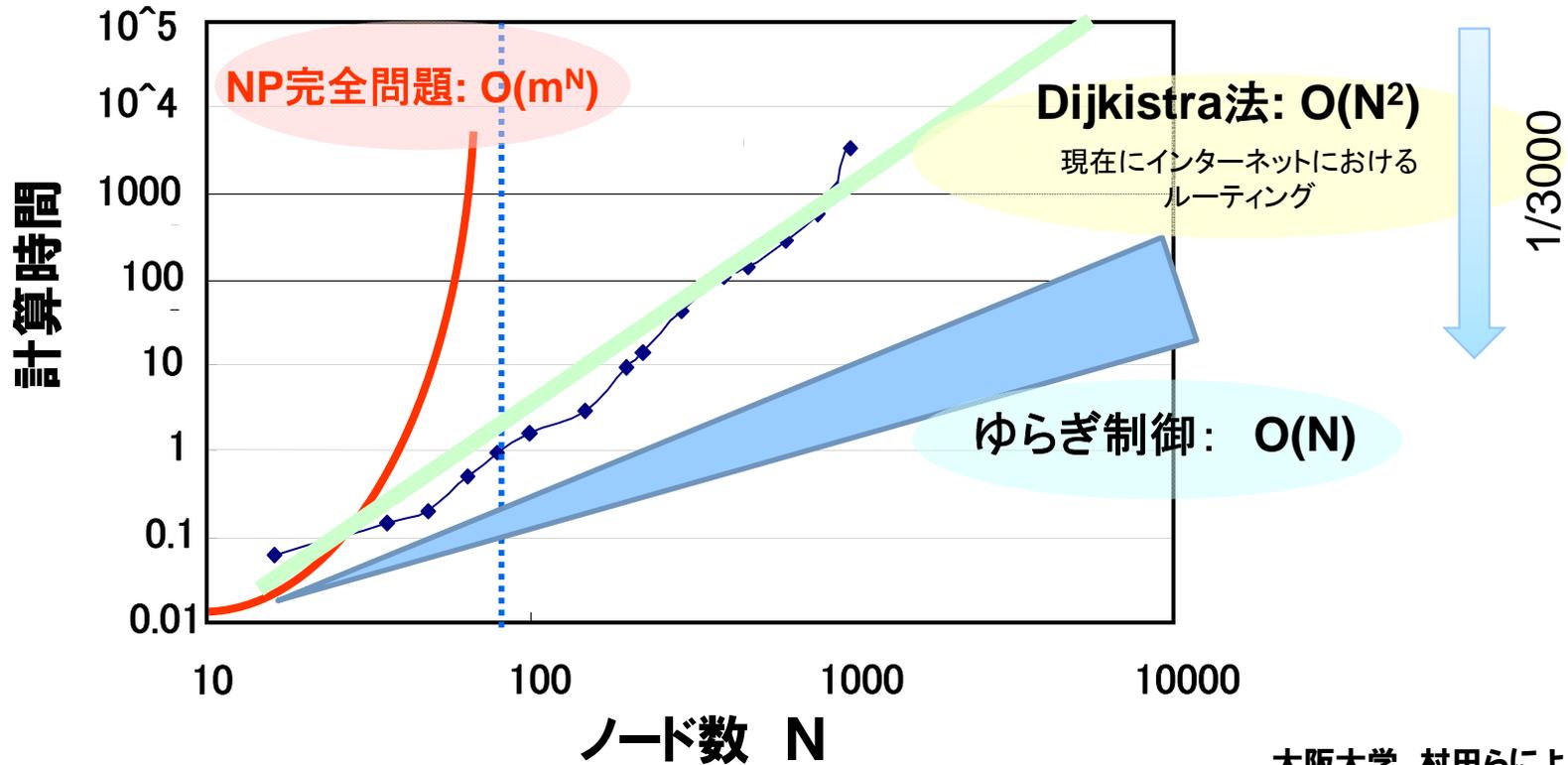
大阪大学 村田らによる



脳に学ぶ情報ネットワーク技術

ゆらぎ制御による計算量削減と省エネ効果

Activityによる自律的目標設定による自律分散制御の実現



大阪大学 村田らによる

従来制御(インターネット)はNの2乗

ゆらぎ制御は $K \times N$

N = 10,000(日本のコンピュータネットワークの規模)で計算量を1/3,000に削減



こころとこころをつなぐ科学

真に伝えたいことを伝えることができる 情報通信の質に着目した研究開発



情報通信技術の顕在化してきた課題

膨大なデータ
ユーザのストレス発生

知りたいことが手に入らない
情報ストレス



伝えたいことが
伝わりにくい

コミュニケーションの巧拙
手段の制約・様々な課題



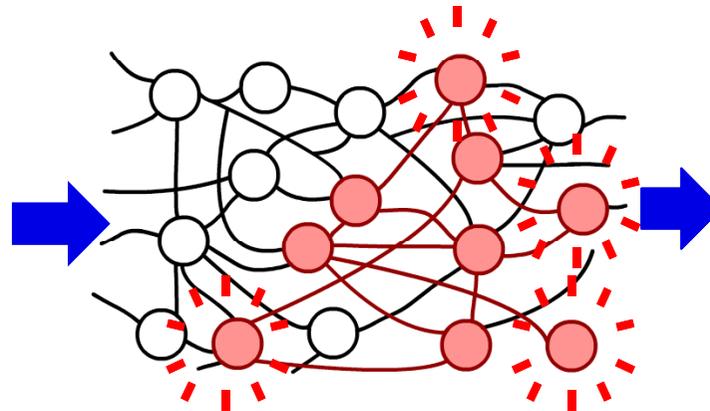
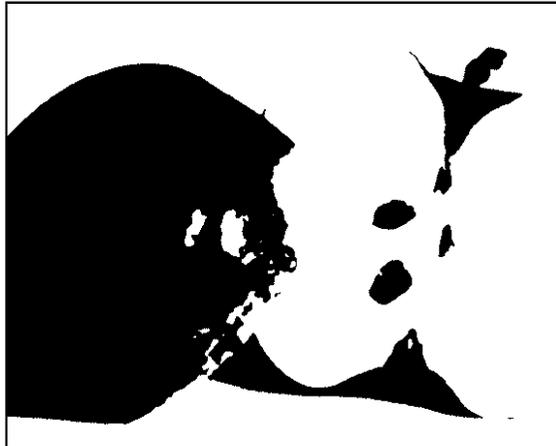
“知らせたい”ことを送り、“知りたいこと”だけを受け取る“真”の情報通信の実現
情報(データ)氾濫や消費エネルギーの問題を解決するために不可欠

人間のコミュニケーション能力が本質的に抱える課題を解消
コミュニケーション能力を拡張



人間らしい情報解釈 脳の柔軟な認識

与えられた情報が不十分であっても、意味のある対象をひらめきで見つけ出すことが可能



不足情報を神経の自発活動で補足

視覚的ひらめき認識速度の実験式

NICT・大阪大学・理化学研究所との共同研究成果

$$v = 1/t = C \exp(-M/S)$$

化学反応速度のアレニウスの式と類似

このメカニズムの解明で、
人間のコミュニケーション能力が本質的に抱える課題を解消
コミュニケーション能力を拡張

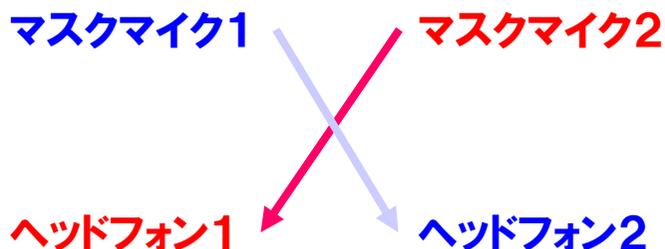


コミュニケーションを脳機能から科学する 会話型 *f*MRI システムの実現

被験者1



自然会話



被験者2



自然な会話をする被験者の脳活動と生理信号を同時に計測する

情動音声の機微

明るさ



不安・不満



情動音声に対する被験者の脳活動と生理信号の同時計測

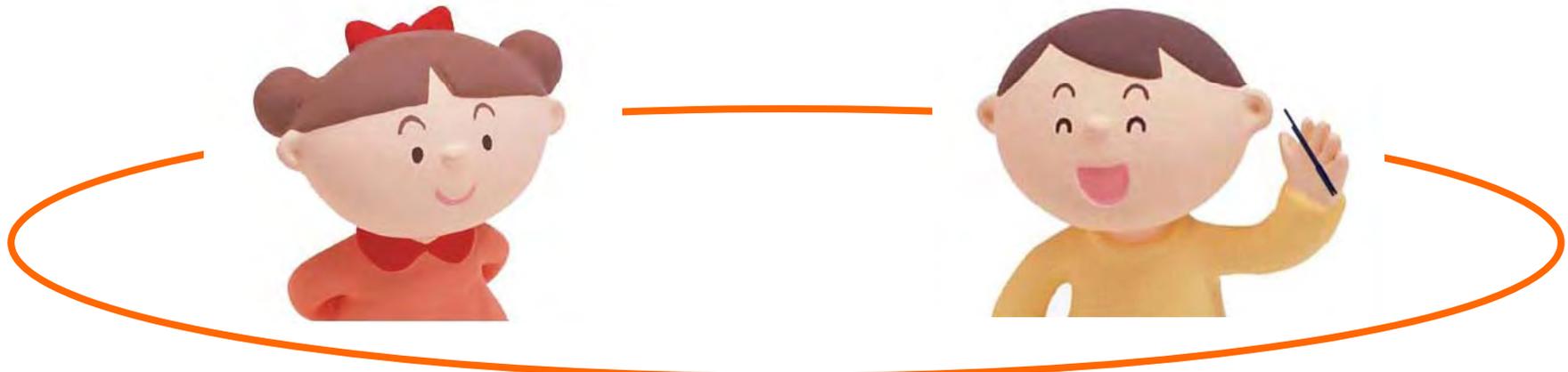
脳活動と生理信号によるコミュニケーション・情動の定量的解析

NICT研究成果

脳情報通信融合による 創造的コミュニケーションの研究 人間的なコミュニケーション

「ボールペンをお持ちですか？」

「はい、どうぞ。」



直接問われていないことまで答えられる

文脈・いきさつ・場を共有する

“三人寄れば文殊の智慧”

人間的インテリジェンスの起源

究極の研究開発目標

情報通信技術における課題

大規模ネットワーク制御

- データ流通量の爆発的な増大による消費エネルギーの増大
- 高度に複雑化したネットワークの厳密制御の限界

コミュニケーション

- データ量の氾濫によるストレス
- 意味のある情報とデータの区別がない
- 人間の脳の仕組みや能力に調和していない

脳科学と情報科学との融合研究で解決