

学術俯瞰講義： 情報と経済2 （第6回） －選択の神経科学－

玉川大学 脳科学研究所/ 大学院脳情報研究科

鮫島和行

⚠：このマークが付してある著作物は、第三者が有する著作物ですので、同著作物の再使用、同著作物の二次的著作物の創作等については、著作権者より直接使用許諾を得る必要があります。

玉川大学 脳科学研究所

- 神経から心理・行動を解き明かす
- 動物を使った実験
 - 脳のスライスを使った電気生理
 - ラット・マウスの行動
 - サルをつかった高次脳機能研究
- ヒトの調査
 - fMRI・脳波・NIRSをつかった脳活動計測
 - 多人数の社会行動実験
 - 赤ちゃんから大人までの発達研究

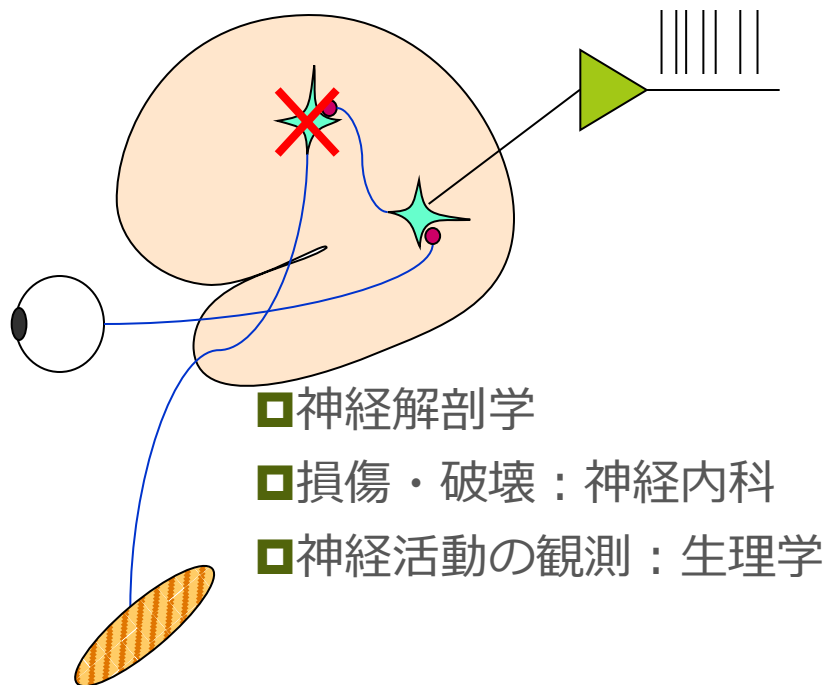


情報と脳：脳を工学で調べる

“Creating the Brain”

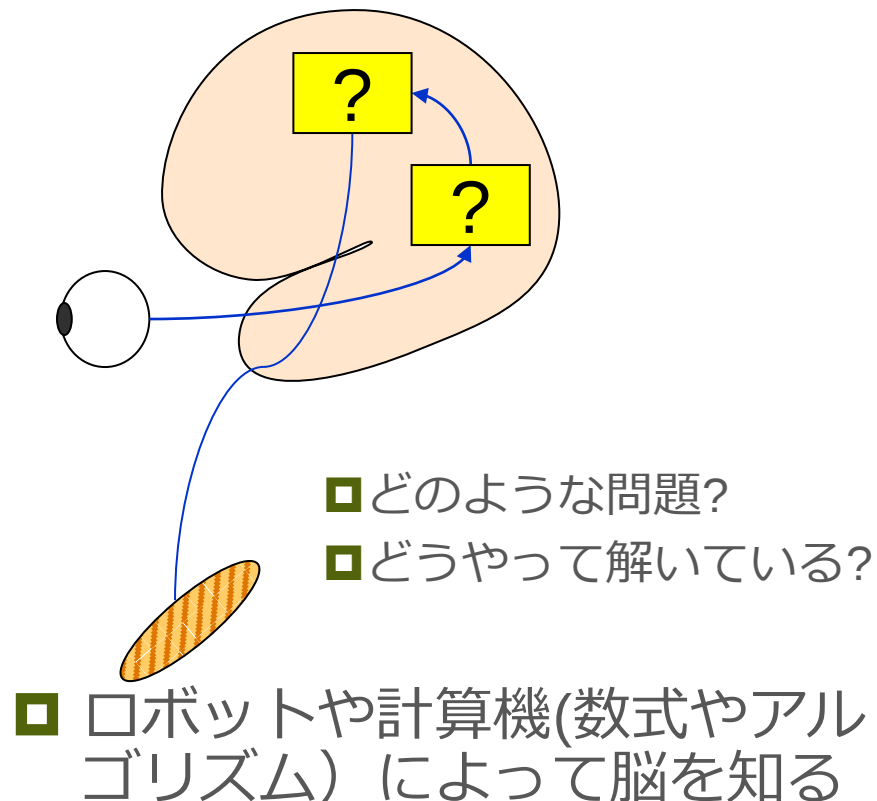
□ 神経科学

□ 外からみている



□ 構成論的アプローチ

□ 脳の中からみる



経済と脳：選択の科学

シーナ・アイエンガー
『選択の科学：コロン
ビア大学ビジネスス
クール特別講義』
櫻井祐子訳、文藝春秋
2010年

http://www.bunshun.co.jp/cgi-bin/book_db/book_detail.cgi?isbn=9784163733500

- 選択を科学的に調べる学問領域
 - 心理学（実験・認知心理）
 - 選択の原因は？個人の特性？環境？
 - 経済学（行動経済学）
 - 社会の動きを知るために個人の行動
 - 神経科学（行動・認知神経科学）
 - 個人の行動は脳の働きの結果
- 人工知能と認知科学
 - 人と同じ選択をおこなうような計算過程？

選択肢が多いことはよいこと？

■ ジャムの実験 (Iyenger and Lepper 1999,2000)

■ 比較対象が非常に多い（情報が多い）

- 24種類のジャム試食－3%の人がジャムを買った

■ 比較対象が少ない（情報が少ない）

- 6種類のジャム試食－30%の人がジャムを買った！

■ 生物としての進化した脳のあかし？

■ 暗黙的システム（システム1）

- 直感・無意識・連想/経験的・感情的な選択

- 進化的に古い脳（大脳辺縁系？）

■ 理性的システム（システム2）

- 知識・意識・論理的・理性的な選択

- 進化的に新しい脳（大脳皮質？）

行動経済学

□ 合理的経済人

- すべての人はすべての情報を正確に考慮し、得られる利益を最大化し、損失を最小化する選択を行うー合理性ー理性？
- 自分（自社）のことしか考えない、きわめて合理的
 - それは本当？ヒトは常に合理的に選択するわけではない。
 - 非合理選択ー感情？

□ Ultimatum game（最後通牒ゲーム）

- 被験者A，被験者B
- 被験者Aが1,000円もらい、被験者Bと山分け。ただし、分け方はAが決めてよい
- BはAが決めた分け方を（受け入れる）（受け入れない）を決める
 - 受け入れるー A, B 双方お金を受け取る
 - 受け入れないー A, B とともに 0 円
- あなたはB いくらだったら受け入れるだろうか？

最後通帳ゲームの受け入れ率

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

Sanfey, A.G., Rilling, J.K., Aronson J.A., Nystrom L.E., Cohen, J.D. (2003)
The Neural Basis of Economic Decision-Making in the Ultimatum Game.
Science 300(5626):1755-1758, p.1756 Fig.1(A)(B)

(Sanfey et al 2003)

fMRI 機能的 核磁気共鳴 画像



受け入れないのは他人に対する感情 のせい？：神経経済学

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を
削除しました。

Sanfey, A.G., Rilling, J.K.,
Aronson J.A., Nystrom L.E.,
Cohen, J.D. (2003)
The Neural Basis of Economic
Decision-Making in the
Ultimatum Game.
Science 300(5626):1755-1758,
p.1757 Fig.2(A)

右島皮質の活動

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

Sanfey, A.G., Rilling, J.K., Aronson J.A.,
Nystrom L.E., Cohen, J.D. (2003)
The Neural Basis of Economic Decision-
Making in the Ultimatum Game.
Science 300(5626):1755-1758, p.1757
Fig.2(C)

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を
削除しました。

Sanfey, A.G., Rilling, J.K.,
Aronson J.A., Nystrom L.E.,
Cohen, J.D. (2003)
The Neural Basis of
Economic Decision-Making
in the Ultimatum Game.
Science 300(5626):1755-
1758, p.1757 Fig.3(A)(B)

(Sanfey et al 2003)

島皮質はどんなときに活動するのか？

- 痛み・苦痛
- 空腹・のどの渇き
- 味覚・嗅覚からの信号—特にいやなにおい
 - 気持ち悪い（むかつく）
 - かびくさいぞうきんのにおい
- 他人の不公平な提案
- 結果の不確実性
 - 結果がどうなるかわからない—経済学でいうリスク

→負の感情？（「嫌な感じ」に関係？）

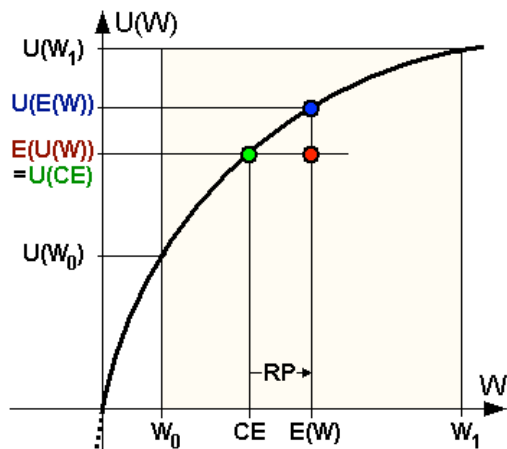
感情～システム1による非合理的なバイアス？

不確実性の回避

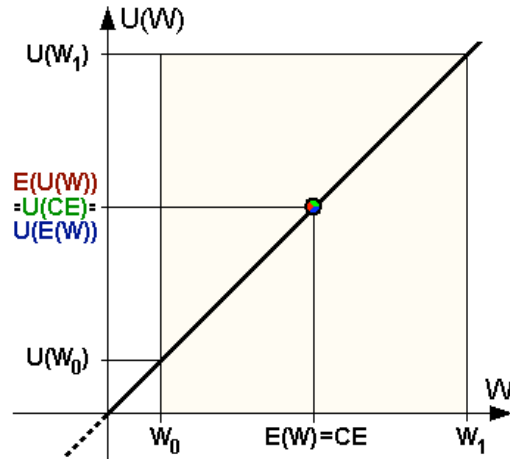
- リスクという概念
 - 嫌なこと（よくないこと）が起こる可能性
 - 損失が生じる可能性～利益/損失に関する確率分布
 - 平均的な利益からのばらつき
- 確実な 1 万円か、50%の確率で20万円or 0円か？
 - 期待値は同じ
 - なぜ異なる選択？
 - 主観的な価値が客観的（物理量）から乖離しているから

Utility function

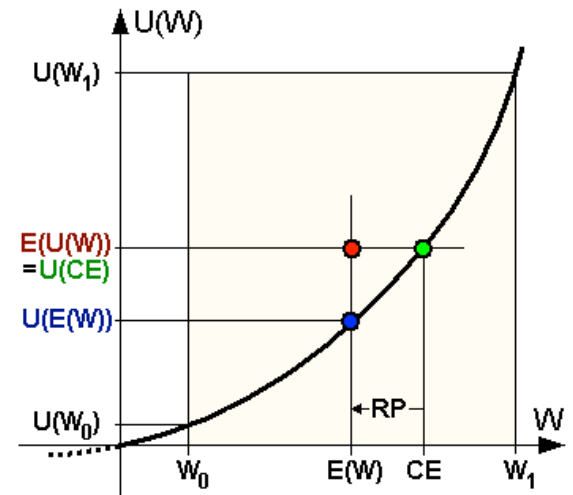
主観的な価値と客観的な価値の関数 (mapping)



主観が客観より小さい
= リスクをさける



主観と客観の一致
= リスクに左右されない



主観が客観より大きい
= リスクを好む

価値を比較して選択する



価値がわからないときにはどうする？

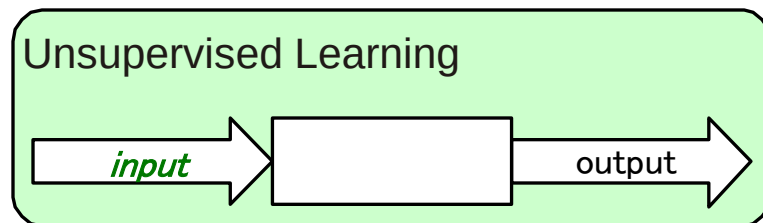
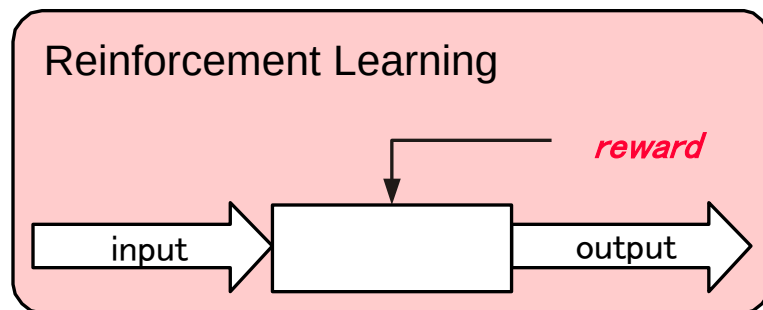
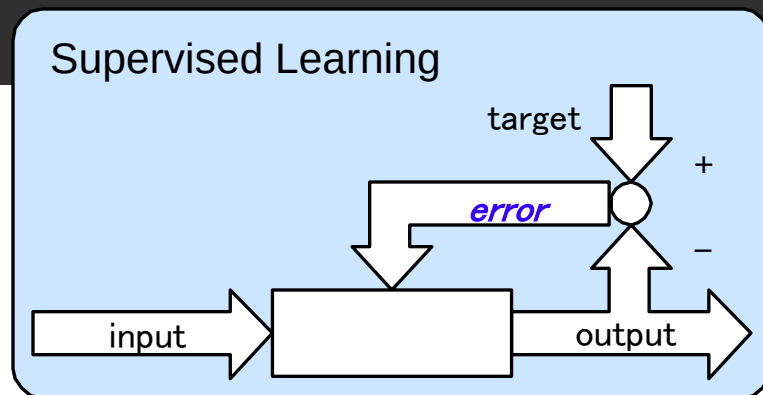


思考錯誤（探索）と学習 が必要

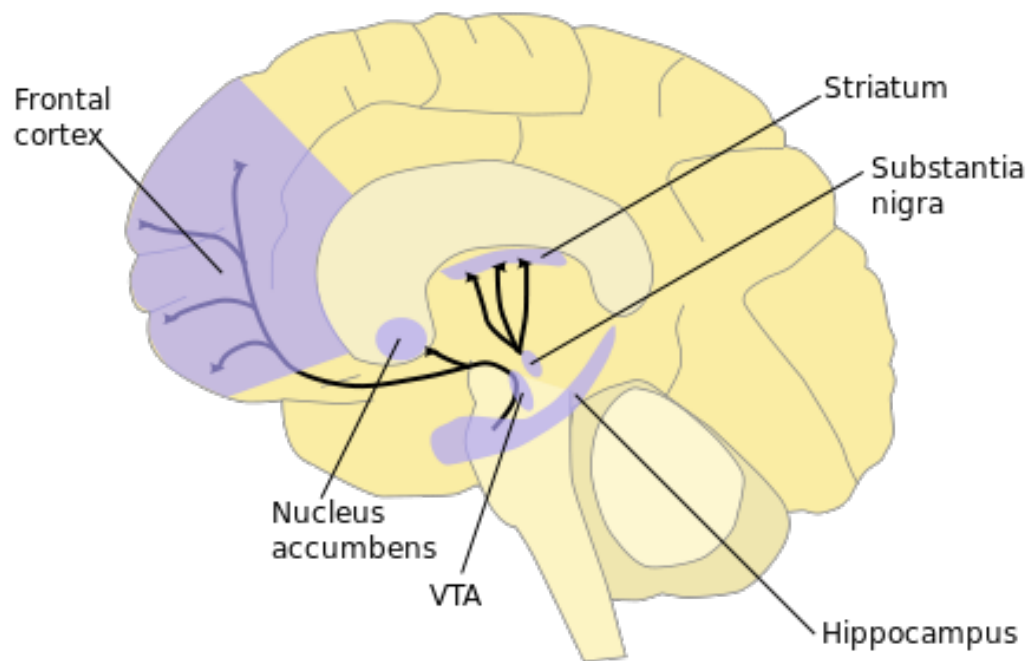


学習の計算理論

- 教師あり Supervised
 - samples $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots$
 - function $y = f(x)$
- 強化 Reinforcement
 - state x , action y , reward r
 - policy $y = f(x)$ or $P(y | x)$
- 教師なし Unsupervised
 - samples $x_1, x_2, \dots$
 - probabilistic model $P(x | y)$



価値と大脳基底核



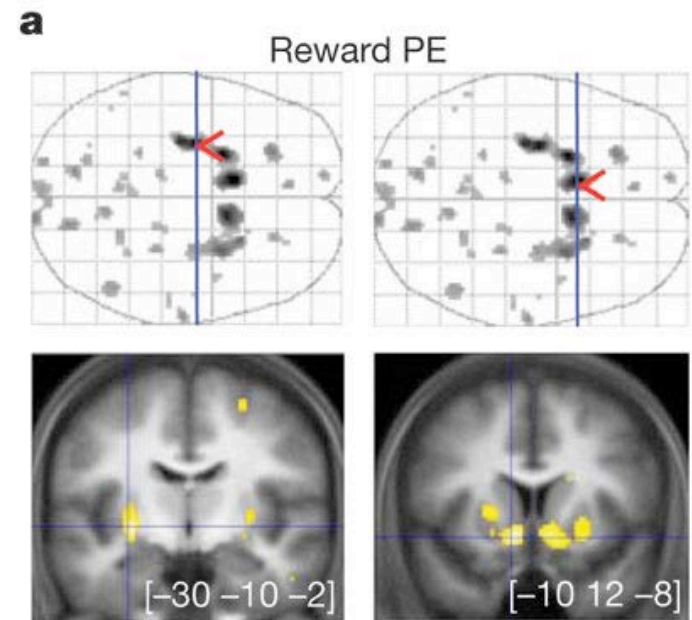
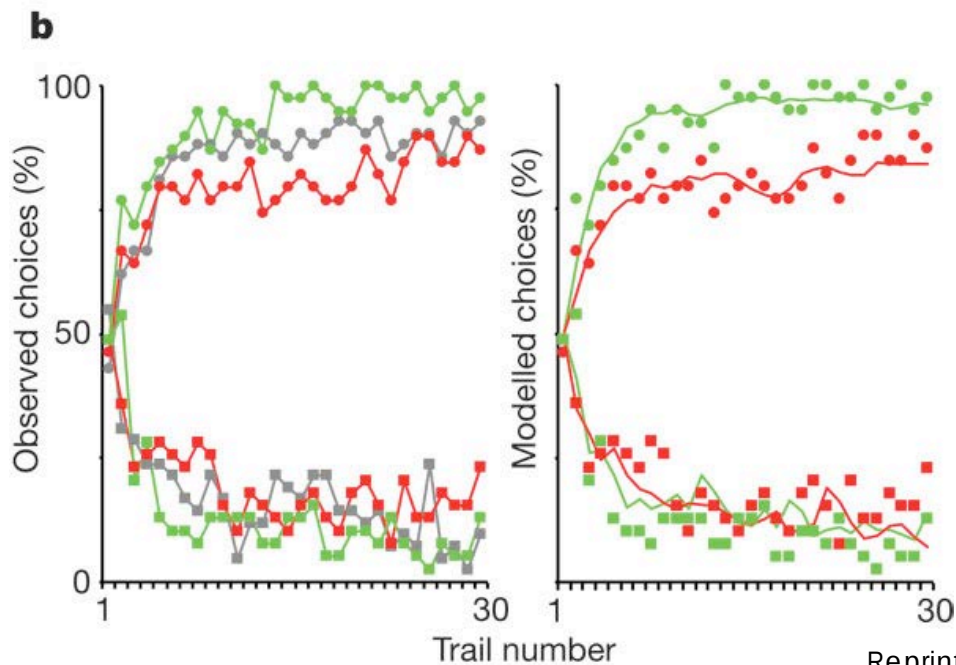
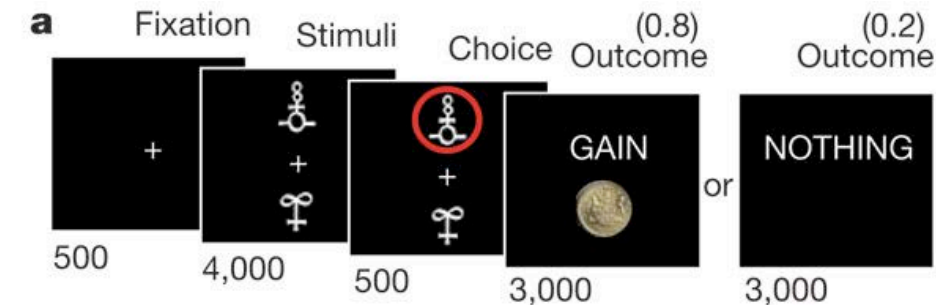
著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を
削除しました。

Wolfram Schultz, Peter Dayan, and P.
Read Montague (1997)
A Neural Substrate of Prediction and
Reward, *Science* 275(5306):1593-1599,
p.1594 Fig.1

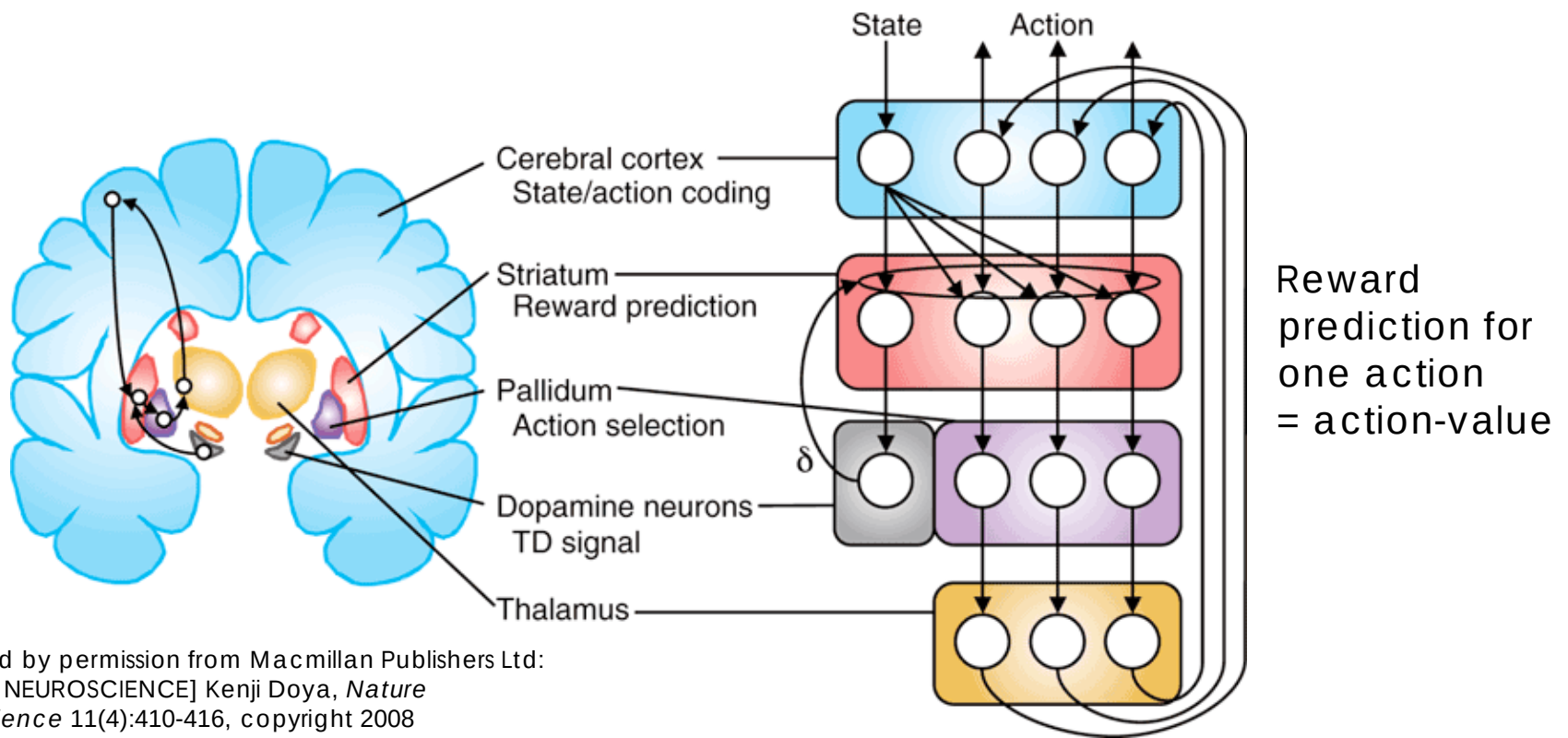
Wikipediaより転載(2012/8/30)
http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:Dopamine_pathways.svg

(Schultz Dayan Montague 1997)

強化と大脳基底核とドーパミン



大脳皮質-大脳基底核ループ神経回路 ：価値を学習し、選択する脳の回路



✦

Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd:
[NATURE NEUROSCIENCE] Kenji Doya, *Nature Neuroscience* 11(4):410-416, copyright 2008

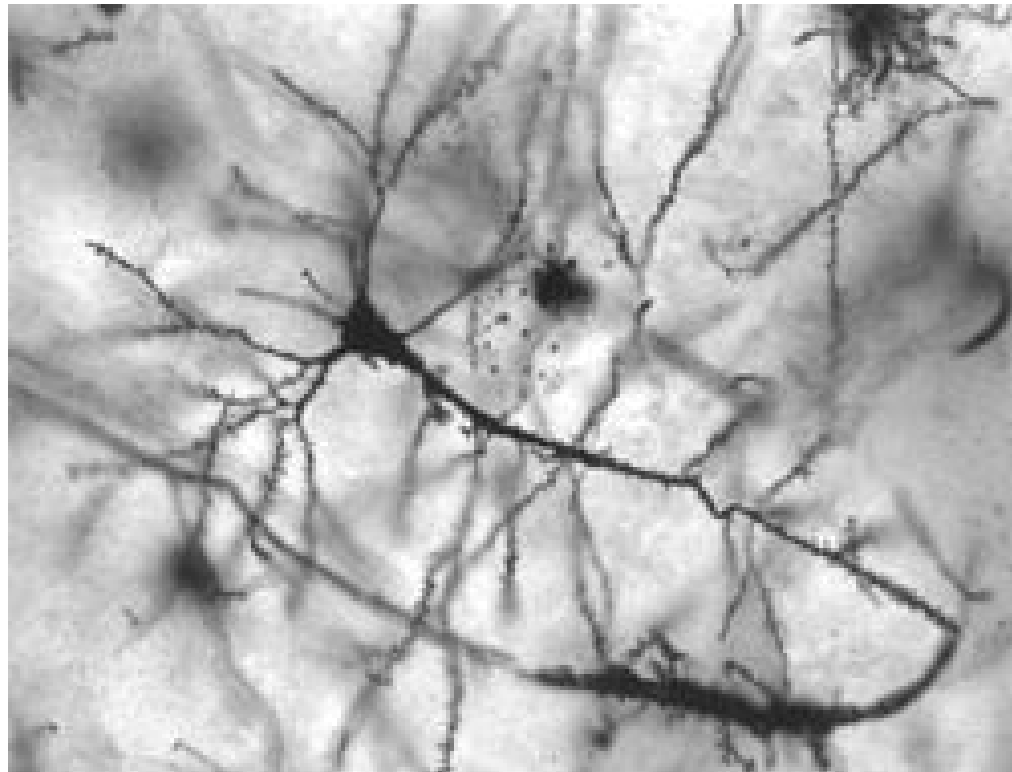
■ Hauk & Barto 1994, Doya 2000,2006, 2008

大脳基底核に選択肢の価値が？



✦

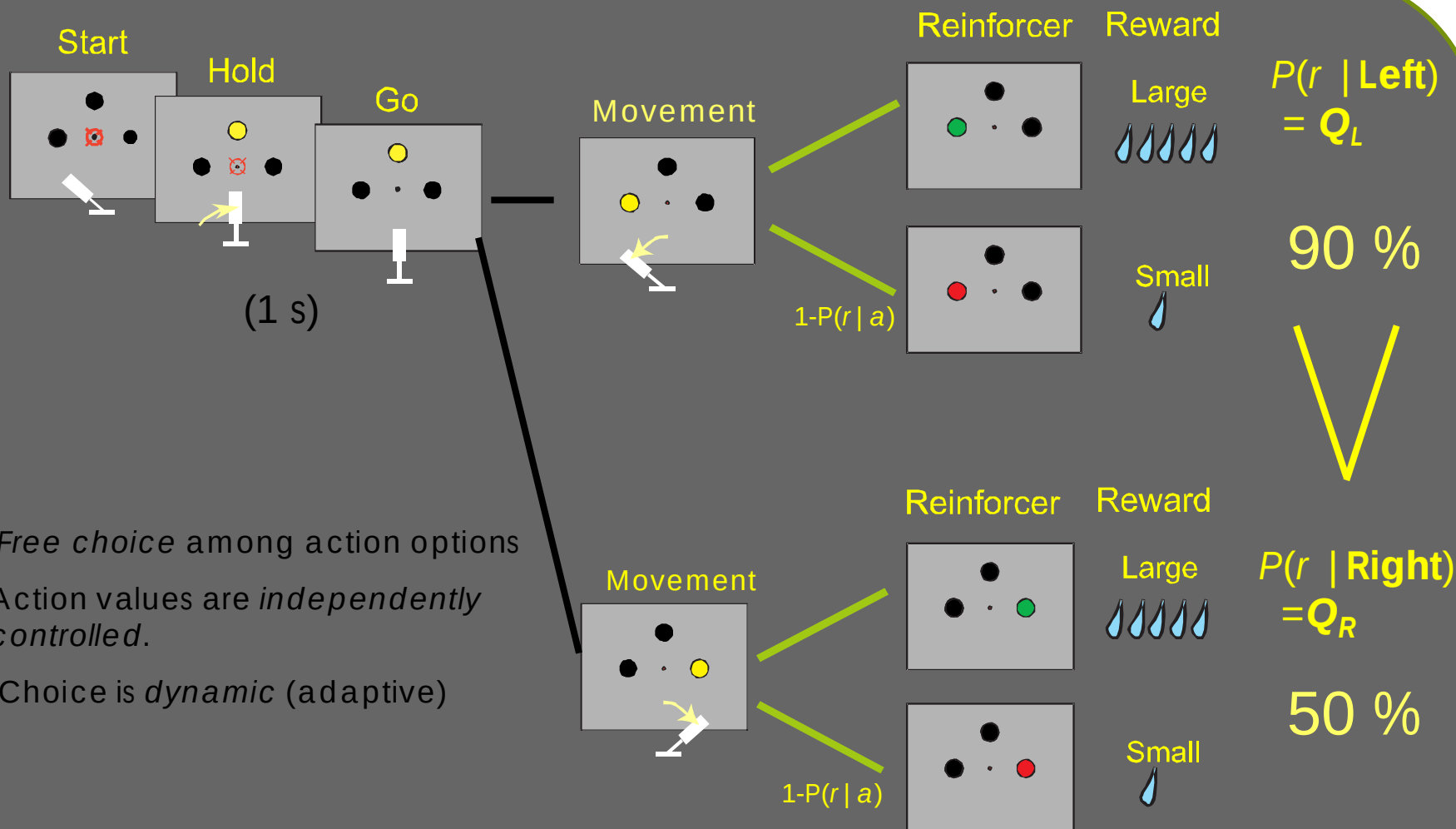
細胞の電気活動を計測する



✱

2-armed bandit task

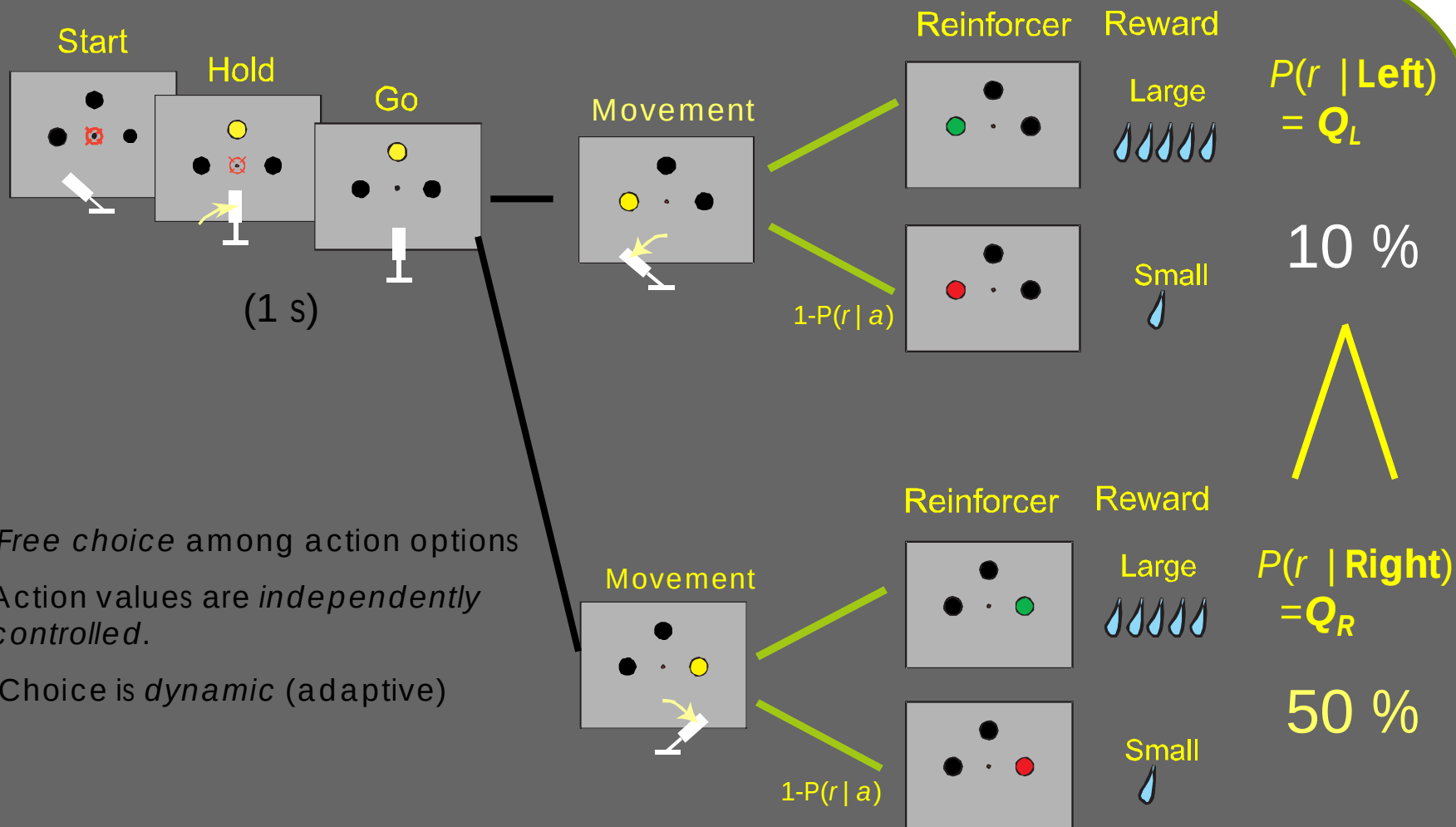
Free choice : Left or Right handle turn



1. *Free choice* among action options
2. Action values are *independently controlled*.
3. Choice is *dynamic* (adaptive)

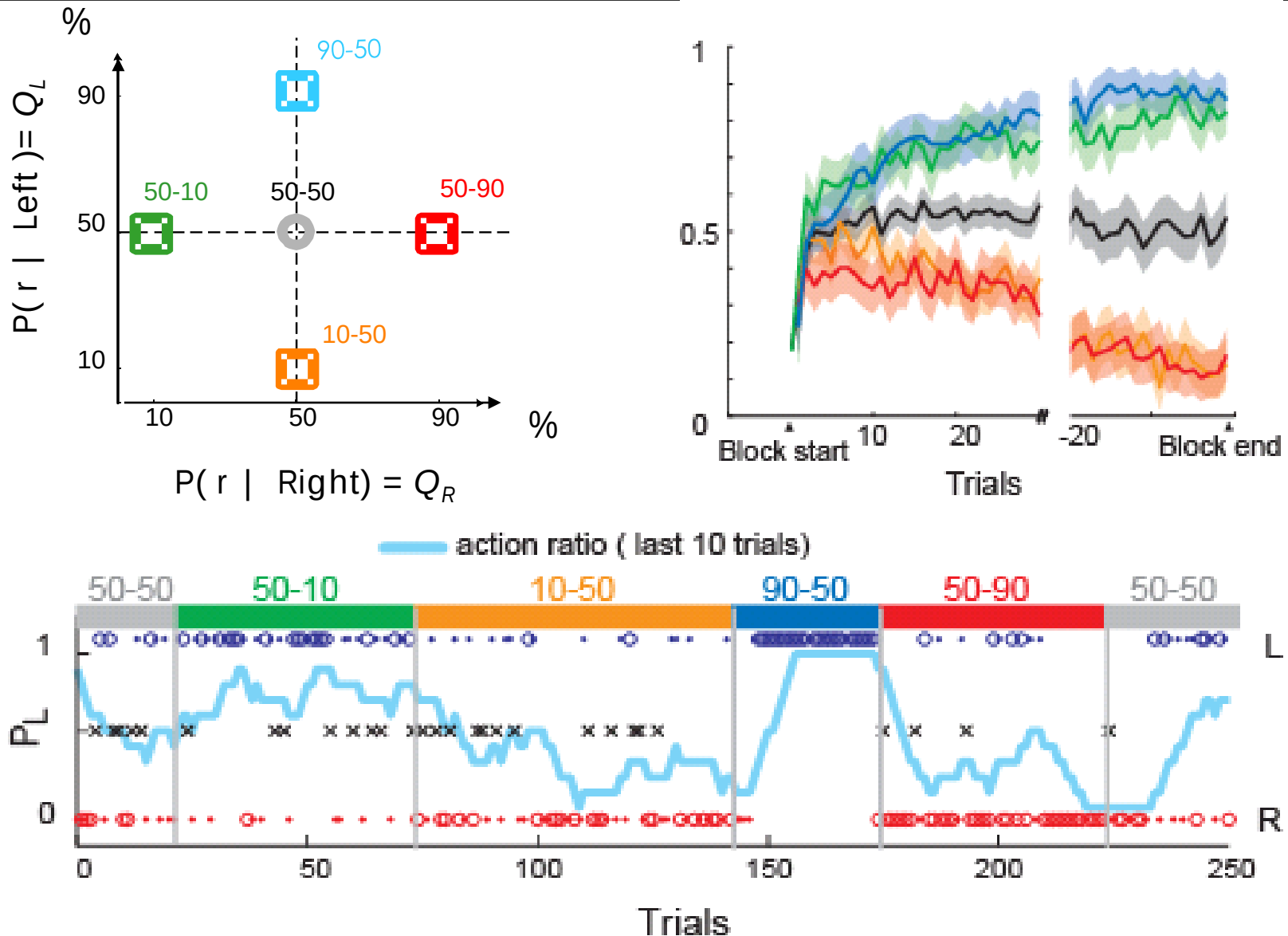
2-armed bandit task

Free choice : Left or Right handle turn



1. *Free choice* among action options
2. Action values are *independently controlled*.
3. Choice is *dynamic* (adaptive)

サルは有利な行動を選ぶ



† From Kazuyuki Samejima, Yasumasa Ueda, Kenji Doya and Minoru Kimura (2005) Representation of Action-Specific Reward Values in the Striatum, *Science* 310(5752):1337-1340, p.1338 Fig.1. Reprinted with permission from AAAS.

2つの選択肢を学習するアルゴリズム

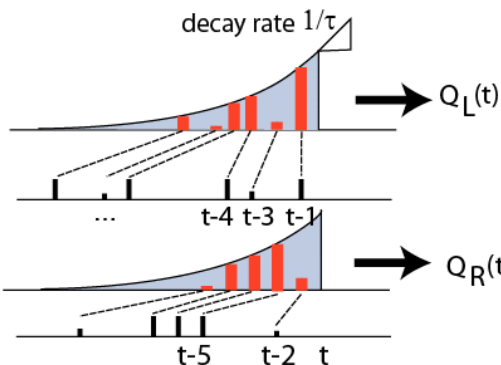
- 各行動に対する価値（行動価値）を過去の履歴から学習

learning rule: $Q_a(t+1) = Q_a(t) + \alpha \delta(t)$

prediction error: $\delta(t) = r(t) - Q_a(t)$



Left reward



α : learning rate

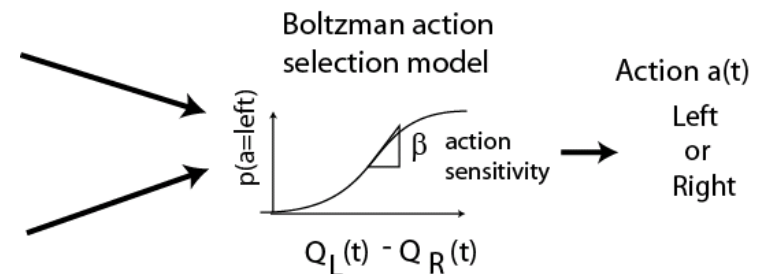


Right reward

- 変動する可能性—確率的行動選択

Action selection :

$$P(a) = \frac{\exp(\beta Q(a))}{\sum_a \exp(\beta Q(a'))}$$

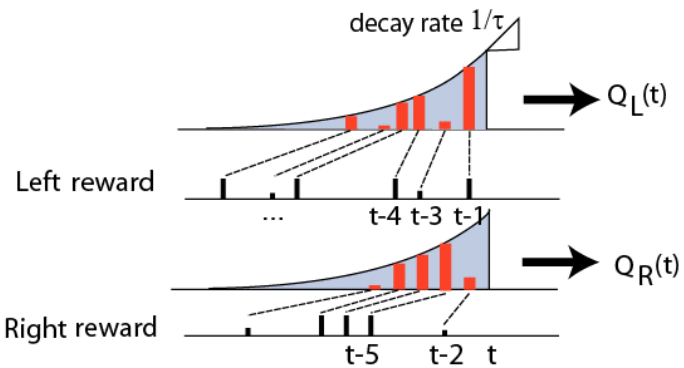


β : action stochasticity parameter

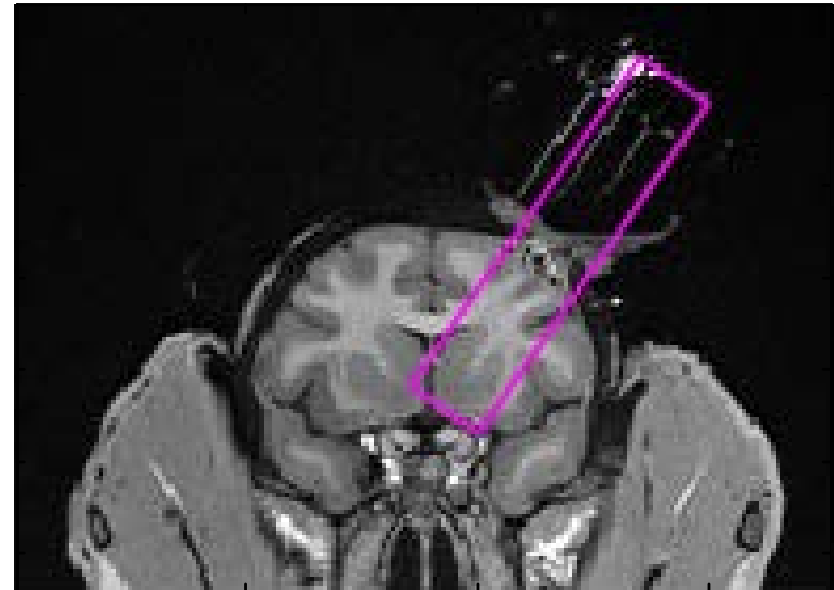
大脳基底核で選択肢の価値は学習される？

learning rule: $Q_a(t+1) = Q_a(t) + \alpha \delta(t)$

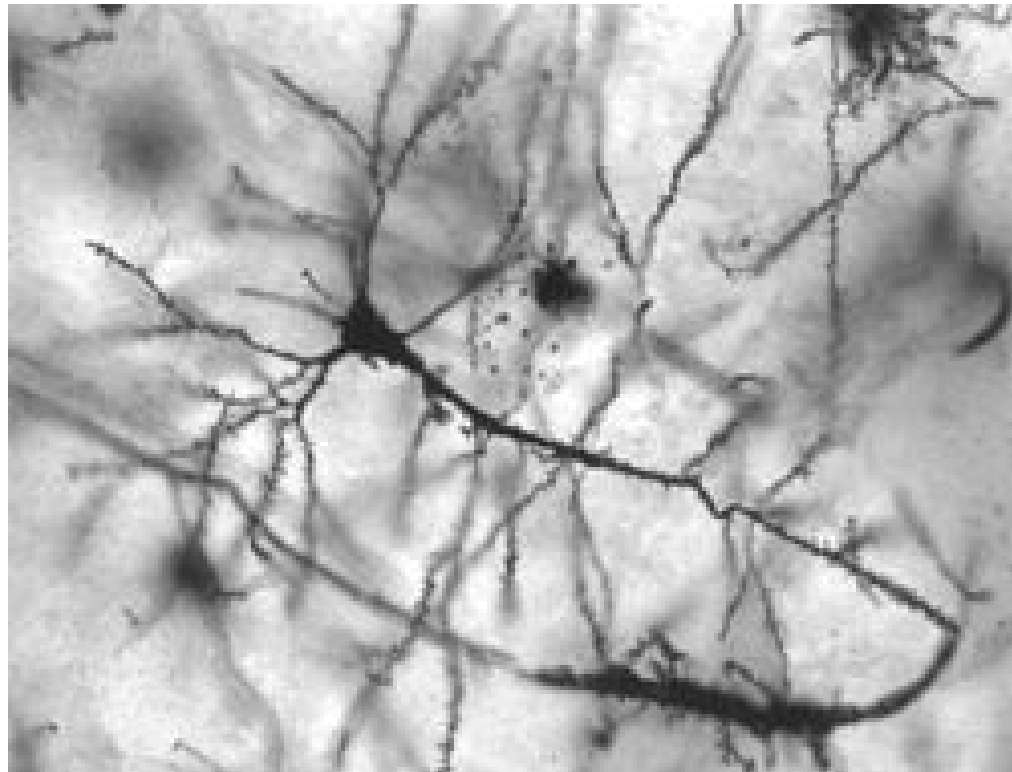
prediction error: $\delta(t) = r(t) - Q_a(t)$



α : learning rate

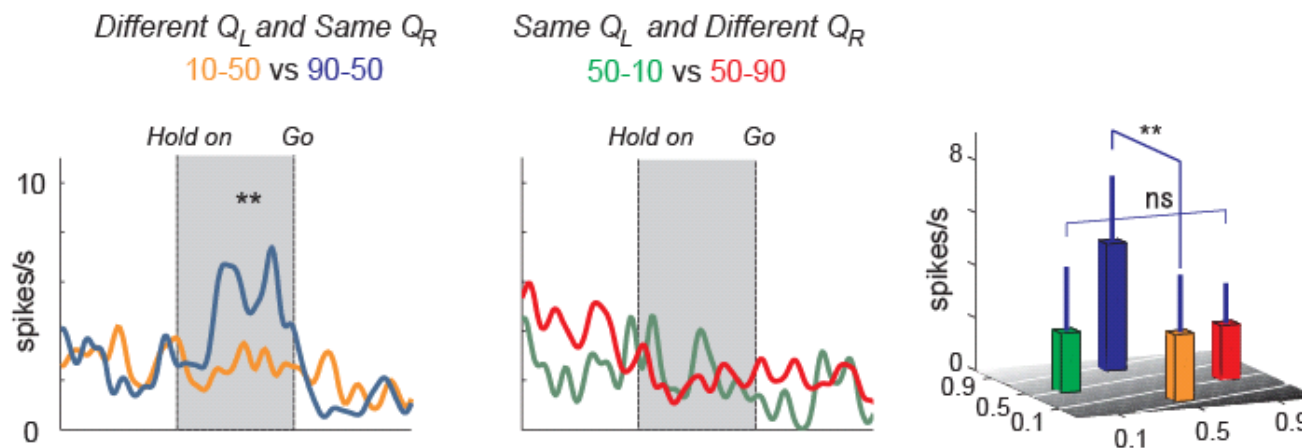


1 個の細胞の電気活動を計測する



✦

大脳基底核の神経細胞は 「特定の選択肢の価値」？



左の価値が変わると
細胞も活動をかえる

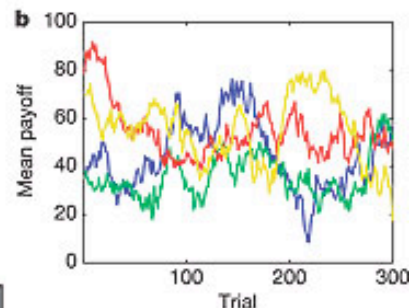
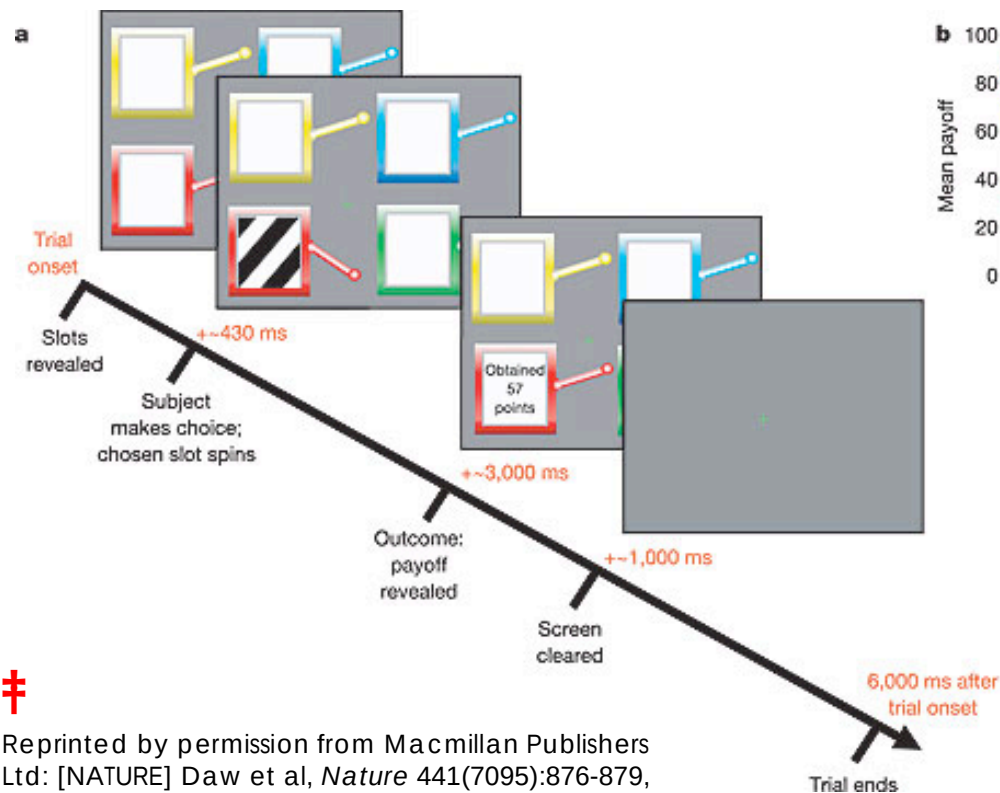
右の価値がを変えても
細胞も活動は変わらない

✚ From Kazuyuki Samejima, Yasumasa Ueda, Kenji Doya and Minoru Kimura (2005) Representation of Action-Specific Reward Values in the Striatum, *Science* 310(5752):1337-1340, p.1338 Fig.2(A)(B). Reprinted with permission from AAAS.

進化的に新しい脳はなにしてるの？ ：試行錯誤と経験利用のジレンマ



ヒトで同じ課題をやったとき



✦

Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd: [NATURE] Daw et al, *Nature* 441(7095):876-879, copyright 2006

(Daw et al 2006)

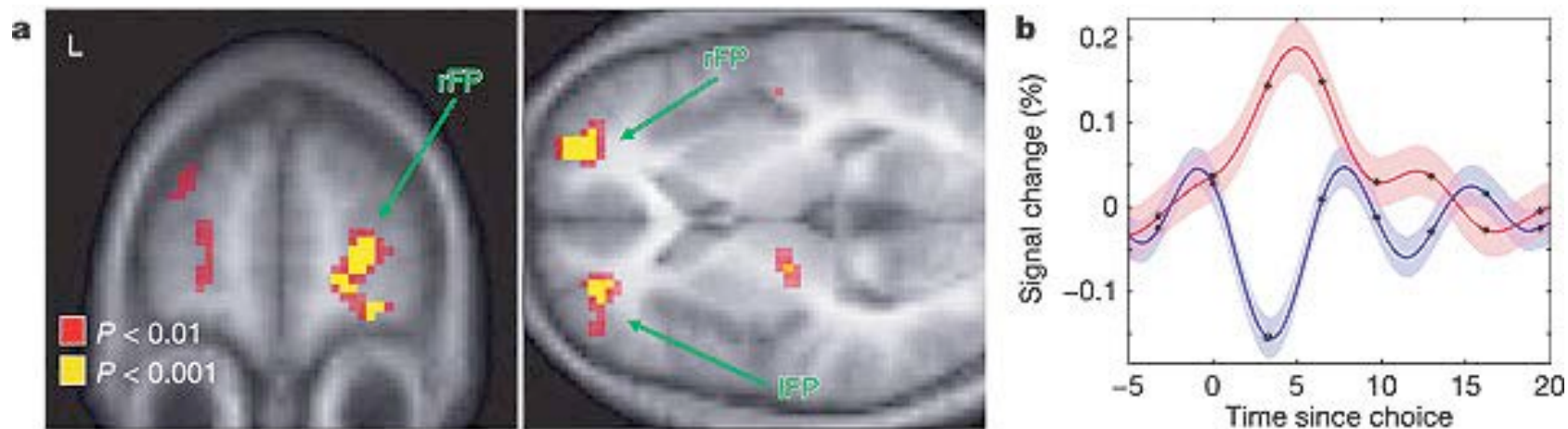


✦

学校法人玉川学園

利用よりも探索を優先した時の脳

計算モデルが予測するのと逆の行動をとった時の脳活動



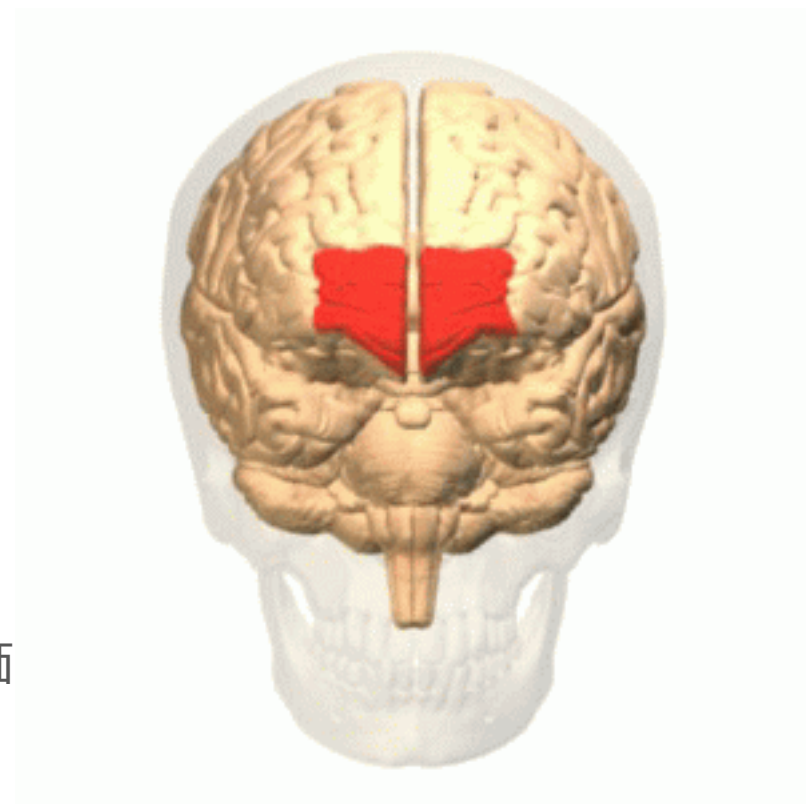
(Daw et al 2006)



Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd: [NATURE] Daw et al, *Nature* 441(7095):876-879, copyright 2006

前頭極という脳の領域

- 進化的にヒトで最も発達
- これまでのfMRI
 - 試行錯誤
 - 複雑な迷路での自己位置
 - なにもしないとき
- サルの研究
 - 自分でした行動 (self-generated decision) の評価



商品選択におけるヒューリスティクス

Coke® vs Pepsi ®

**Coca-Cola
Classic**

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除し
ました。

Pepsi

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除し
ました。

ブランドの親近性によるバイアス

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

Samuel M. McClure, Jian Li, Damon Tomlin, Kim S. Cypert, Latané M. Montague, P. Read Montague (2004)
Neural Correlates of Behavioral Preference for Culturally Familiar Drinks, *Neuron* 44(2):379-387, p.383 Fig.3

でも、新しい商品は毎年でる
買うヒトもいるし、買うときもある

Pepsi DRY

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像
を削除しました。

Coca-cola
Plus
カテキン入り

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像
を削除しました。

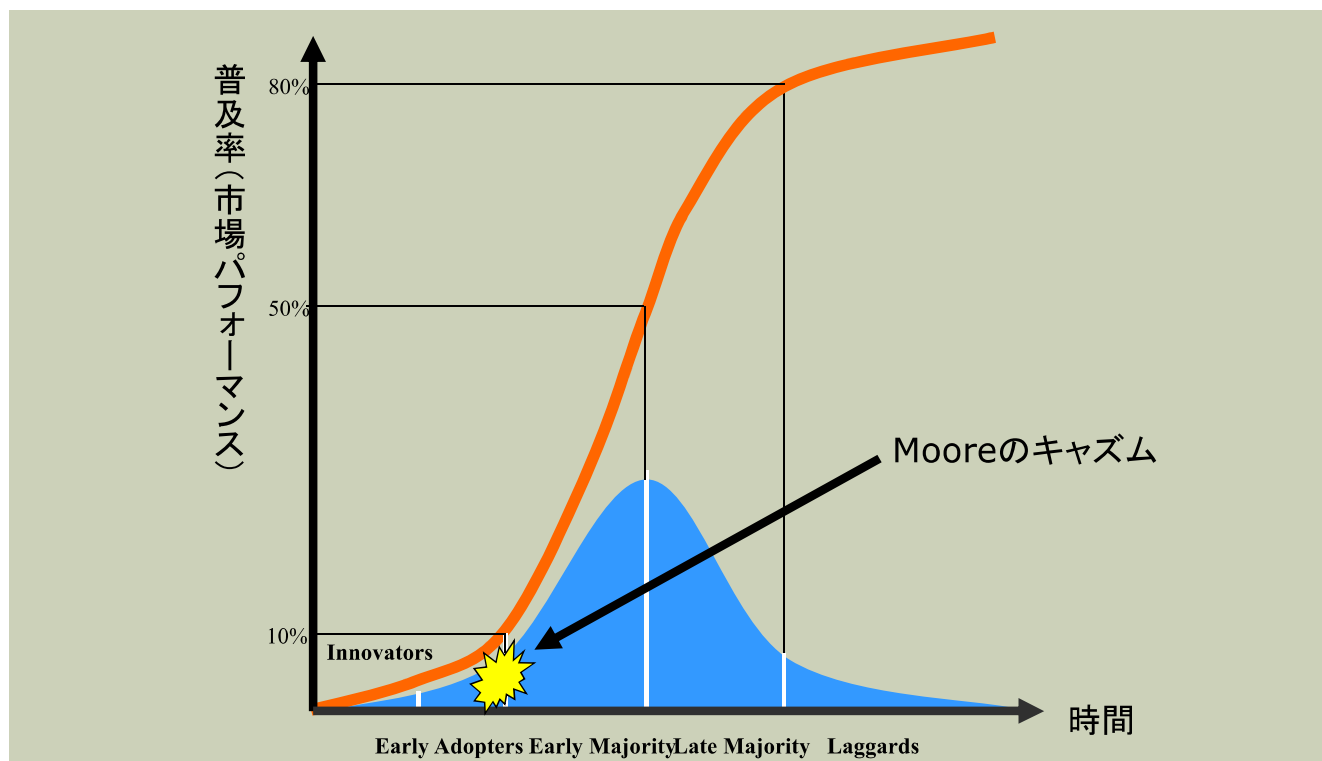
Asahi
ドデカミン
エナジーコーラ

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像
を削除しました。

Pepsi
ENERGY
COLA

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像
を削除しました。

多様性・個人差の脳科学



新商品に飛びつく人は、
どんな人なのか？

新しい情報を求めて探索するヒト？
リスクを好むヒト？
どんな脳の使い方？

2つのアプローチ

- 行動学的に明らかにする（被験者間比較）
 - 知らない商品の選択をする人は、くじ引きで賭けを好むのか？
 - 知らない商品の選択をする人は、学習課題でよく探索を行う人なのか？
- 神経機構の共通性／相違性を調べる
 - 知らない商品を選択したとき、脳のどの領域が活動するのだろうか？
 - 新しい知識を探索する行動をするときと同じ神経機構を使っているのか？

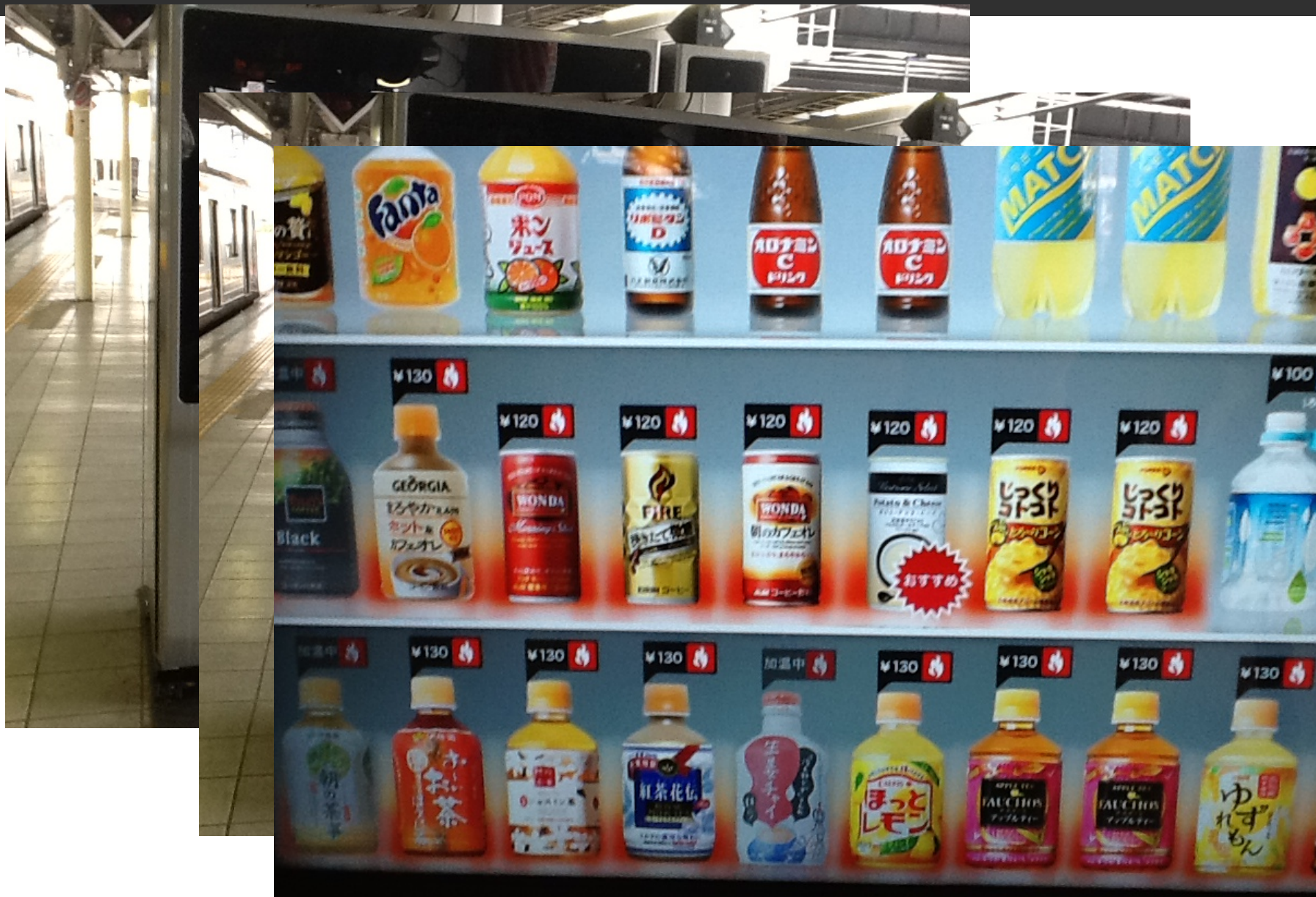
個人差の行き着く先？



個人差の行き着く先？



個人差の行き着く先？



本日の授業のまとめ

- 選択の科学は多くの学問領域の総合デパート
 - 心理学・経済学・工学・医学・生物学
- 脳をなかから知る
 - 計算神経科学：何を解き、どのように解くか？を創って考える
- 神経経済学：一見合理的に見えない行動は脳という進化の産物？
 - 価値はいかに脳で学習されるか？
 - 大脳基底核で過去の経験からの価値を学習
 - 過去の経験にしばられない選択はいかにして行われるか？
 - 新しい（知らない）商品を選択し、情報をえること
 - 前頭極は、新しいことに挑戦し、自己決定を評価する？