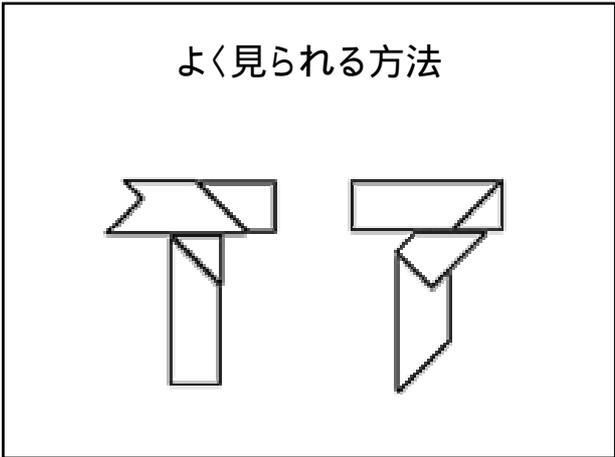
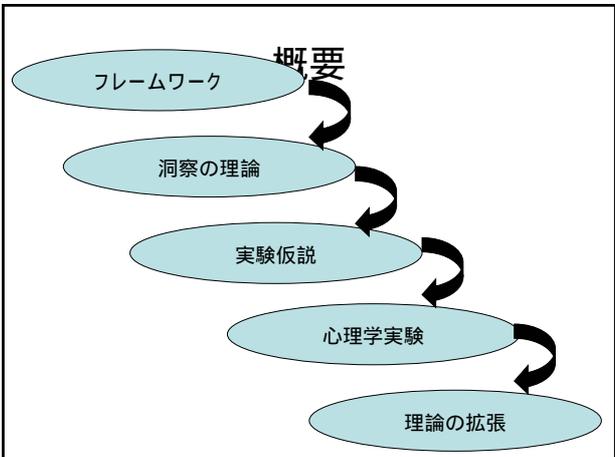


- ### Tパズルの特徴
- 一般的にいて、きわめて困難なパズルである。
 - ふつうは、30分程度は十分にかかる(最短は2分弱、放棄するもの多数)。
 - 典型的なパターン:
 - Tという図形を横棒と縦棒に分解してしまう。
 - 横棒と縦棒をつくらうとする。
 - 5角形の凹部分を埋めようとする



- ### 理論の射程
- 初期のimpasseから、illuminationに至る過程を、一貫した形で説明する。
 - 対象、関係、ゴールを制約として表現する。
 - それらの制約が失敗をとおして徐々に緩和されていくプロセスとして、洞察問題解決のモデル化を図る。
 - 失敗の持つ意味を解明する。



フレームワーク

- 問題表象の一般的図式
 - 対象(object)
 - 関係(relation)
 - ゴール
- 問題解決: 上記の問題表象にオペレータが作用することにより、ゴールを満たすよう、表象が変更される。

対象レベルの制約

- 対象がカテゴライズされる際の制約。
- ものは様々なレベルでカテゴリー化される。
- しかし、一般的にはbasic levelでのカテゴリー化が起こる(ただし、単一ではない)。
- 洞察問題解決においても、問題中の対象はこのレベルでカテゴリー化されやすい。
- ろうそく問題でいえば、箱は「箱」と認識され、「平面を持つもの」とか、「物体」などという形では認識されない。

関係レベルの制約

- 複数の対象の関係の仕方
- ある対象と別の対象は様々な形で関係を持ちうる。
- しかし、人間は一般に対象の持つ最も顕著な機能を用いて、それを他の対象と関係づける。
- たとえば、ろうそく問題の箱ならば、他の対象を中に入れるという関係で、画鋸ならば、それを何かにさすという関係で他の対象と関係づく。

ゴールの制約

- 問題解決のゴールは、途中の過程で行われる様々な試行に対して、フィードバックを与える。
- 洞察問題解決においても、ゴールは同様の役割を果たし、プロセスをあるときにはimpasseに導き、ある時には解へと導く。
- ゴールの制約は次のような形で表現する。
 - ゴールの状態に対するイメージ
 - ゴールと現在の状態の差を計算する関数

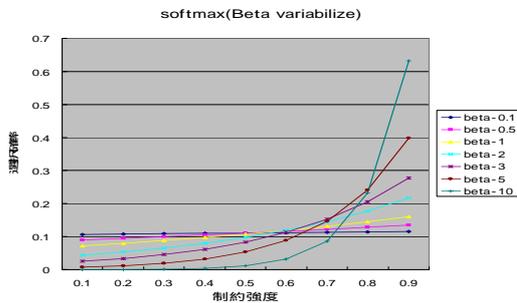
図形パズルにおける各制約

- 対象レベルの制約
 - 図形のカテゴリー化におけるbasic levelは、その図形の標準的な置き方に対応する。
- 関係レベルの制約
 - Tパズルのような図形パズルにおいては、関係の制約はよい形を作るという制約となる(接続の結果、生じる図形の総角数を最小にするように)。
- ゴールの制約
 - ゴールの状態に対するイメージ

制約緩和

- 初期のimpasseは対象レベル、関係レベルの制約の協調による。
- 繰り返しimpasseに陥ることにより、徐々に制約が緩和される。
- 制約に違反したカテゴリー化、関係づけがなされる確率が相対的に増加する。
- ある時点で適切なカテゴリー化、関係づけがなされることにより、適切なオペレータが起動し、洞察にいたる。

Softmaxアルゴリズム



制約選択のアルゴリズム

- 時刻 t における各レベルの制約 C_i は各々強度 h_i^t を持つ。
- このとき、特定の制約 C_i が選択される確率は、softmaxにしたがって計算される。

$$e^{*h_i^t} / e^{*h^t}$$

- ベータが0に近いときは、すべてが等確率、 β が無限大になれば、Winner-take-allとなる。

制約更新のアルゴリズム

- 経験からの学習は、
 - 更新率
 - 誤差, エラー評価
 - h_i^t に依存する。

- $h_i^{t+1} = h_i^t + \eta \delta_i^t$
- $\delta_i^t = (e^{*h_i^t} / e^{*h^t} - p_i)$
- η : 学習率, δ_i^t : 誤差

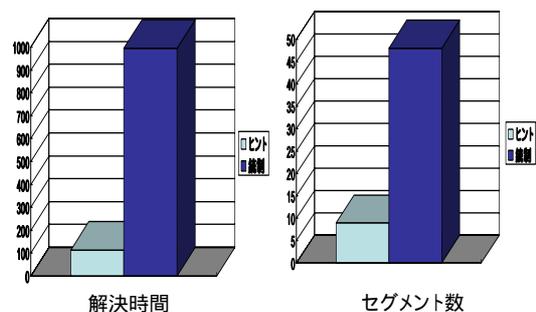
Tパズルにおける制約1

- 対象レベルの制約:
 - 個々のpieceがどのようにおかれるかについての制約であり、図形の常識的な置き方に対応する。
 - たとえば、図形は少なくともそのひとつの辺が基準線と平行におかれる。
- 関係レベルの制約:
 - 複数のpieceがどのように接続されるかについての制約。一般的にいえば、よい形をなすように2つの図形を接続する。
 - たとえば、2つのpieceの角は接続されたときには、1つの角をなすように、それらを接続する。

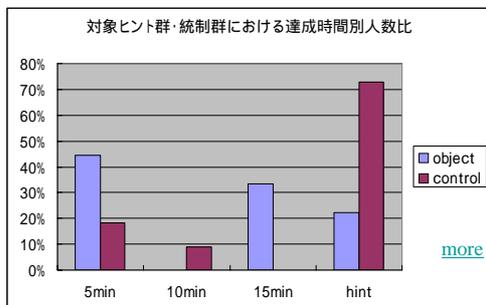
対象レベルの制約の存在

- 何のヒントもなしに問題を解くと、80-90%程度の試行で五角形を垂直、あるいは水平に置く。
- 「五角形を並行、垂直に置くな」というヒントを与えると、3/4の被験者が自力で解決できる。
- 解決に要する時間も、ヒント群では300秒(メディアン)、ヒントなし群では1000秒。

対象制約ヒント実験結果 (時間, セグメント)



対象レベル制約ヒント実験 (達成時間分布)



関係レベルの制約の存在

- 何のヒントも与えないと、80%程度のセグメントにおいて五角形のノッチを埋める。
- 「ノッチを埋めないで」というヒントを与えると、約90%の被験者が自力解決できる。
- セグメント数も、大半が10回未満(統制群は48回)で、解決時間は2分程度。

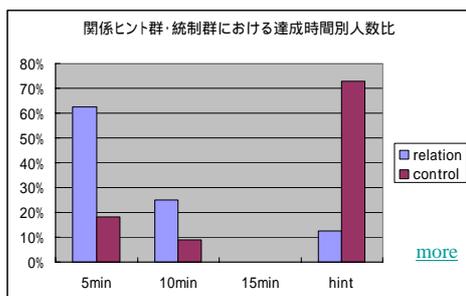
関係レベル制約実験

- 関係レベルの制約を実験的に確かめる。
- 19名をランダムにヒント群と統制群に分ける。
- 「ノッチを埋めないで」とヒントを与える。
- これによる促進効果、および他の制約との関係を吟味する。

関係レベルヒント実験の結果

- 自力解決：
 - ヒント7/8、統制3/11
- ノッチ埋め：
 - ヒント11%、統制71%
- 五角形の縦横の置き方：
 - ヒント27%、統制76%
 - 一度も縦横置きをしない被験者がヒント群では3名いた。

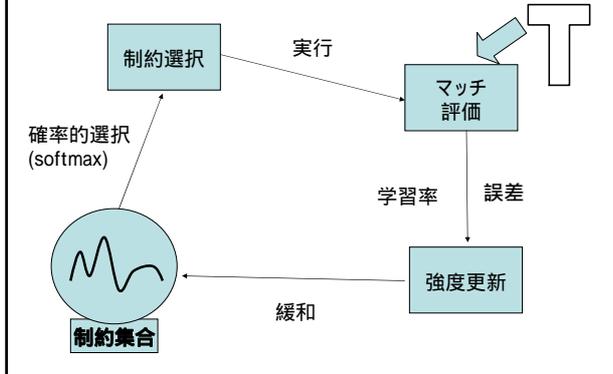
関係レベル制約ヒント実験 (解決時間分布)



結果(ヒントの効果)

- ヒントの効果は(予測と異なり?)かなりある。よって、統制群のヒント後のパフォーマンスと比較する
- 達成時間
 - ヒント: 260、統制: 196
- セグメント
 - ヒント: 18.4(32.5)、統制: 8(8)
- ヒントのとたんに解けているわけではない。

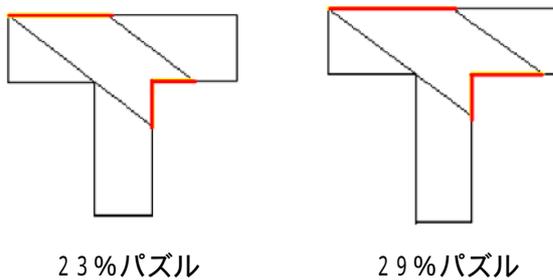
モデルの概略: 緩和のメカニズム



ゴール制約: マッチ

- ゴール制約はゴールのイメージを表現し、現状とのマッチをとる。
- 五角形ピースは仮に正しくおいてもマッチがとれない。
- 露出部分が少なすぎる。
 - 完成図形の外周に占める割合 (五角形: 20, 大台形: 43)
 - 完成図形の外周に露出する割合 (五角形: 40, 大台形: 81)

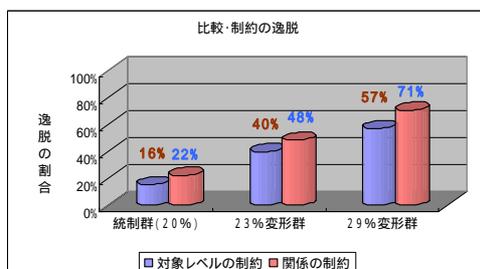
変形Tパズル



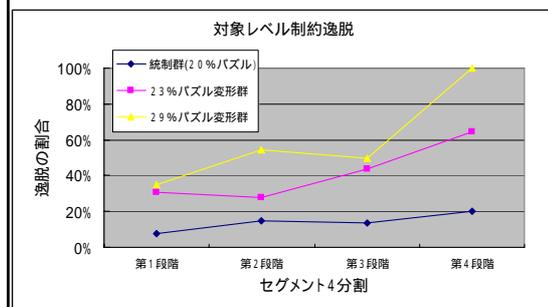
解決時間 (中央値)



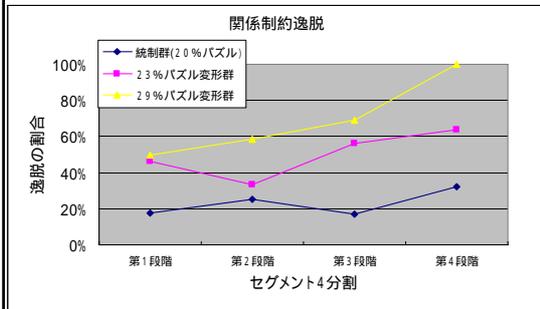
制約逸脱の割合



対象レベルの制約逸脱の時間的变化



関係レベルの制約逸脱の時間的变化



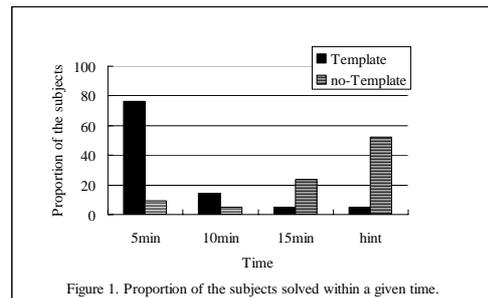
ゴールの制約: マッチと評価

- 型紙を置くことにより、マッチと評価が行いやすくなる。
- これによってゴールの制約が働きやすくなり、洞察へ至る確率が高まる。
- しかし、以前の実験でははっきりとした結果は得られなかった。
- そこで型紙に加えて、5角形以外のピースを固定した実験を行った。

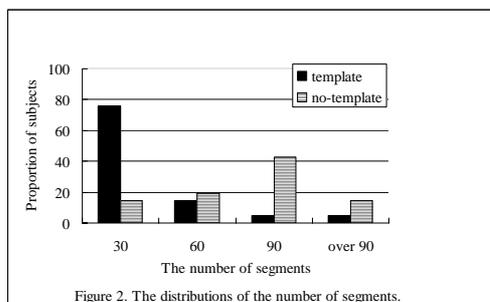
型紙によるゴール制約実験

- 被験者40名を
 - 固定図形の種類(3)
 - 型紙の有無(2)
 - の6つの群に分けた。
- 15分経って解けない場合は、ヒントを与えた。

型紙によるゴールの制約実験の結果: 解決時間



ゴールの制約実験の結果 セグメント



制約緩和—時間依存

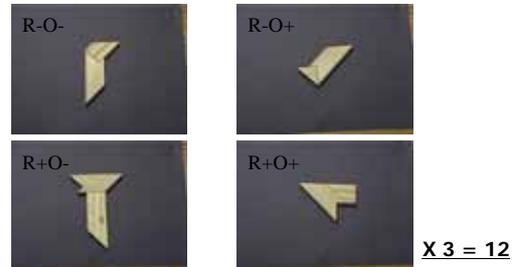
- 繰り返しimpasseに陥ることにより、徐々に制約が緩和される。
- 制約に違反したカテゴリー化、関係づけがなされる確率が相対的に増加する。
- ある時点で適切なカテゴリー化、関係づけがなされることにより、確率的に洞察にいたる。
- 仮説
 - 失敗によって緩和が進む 制約を逸脱した置き方が増加する。
 - 緩和の状態によって、たまたま適切に置かれた図形への評価が異なる。¹

方法

- 被験者: 大学生20名
- 課題: Tパズルを解かせる「完成課題」の最中に、未完成状態のTパズル(12パターン)に対して「正解への近さ」を10段階で評定させる「評定課題」を課す。
- 完成課題は完成時のT字と同寸のゴール図形上にピースを重ねあわせる要領で行う。
- 被験者を2群に分け、評定課題に移行するタイミングで差をつけた。(完成課題開始から1分後、あるいは5分後)
- 被験者の解決過程をビデオで記録した。

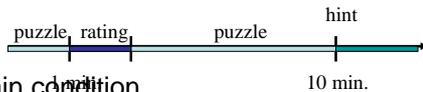
Rating task

Rate the closeness of the stimulus to the goal (10 point scale)

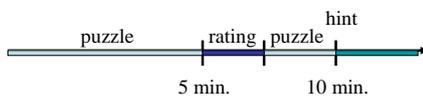


Procedure

- 1-min condition

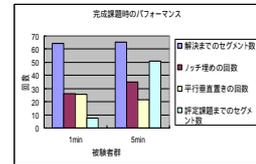
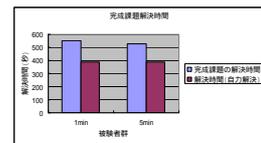


- 5-min condition



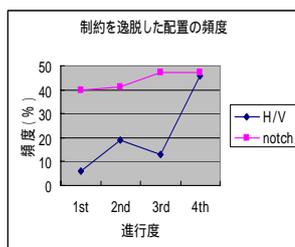
結果1 (完成課題)

- 両群の解決時間、解決に要したセグメント数に差は見られなかった。
- 1分群と5分群の間では評定課題までのセグメント数に差がある。
- よって、1分群と5分群の差異は同一問題解決者内の失敗経験に伴う変化と見ることができる。

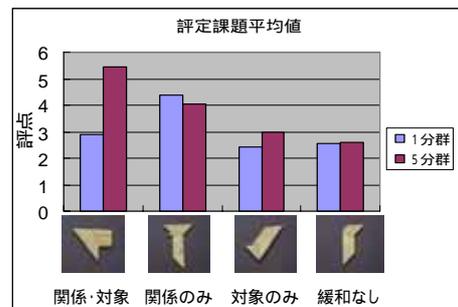


結果1 (完成課題)

- 問題解決終盤において、対象の制約を逸脱する頻度が増加した。
($F(3,48)=7.89, p<.001$)
- 関係の制約で同様の変化が見られないのは、ゴール図形の上にピースを重ね合わせるという、今回の実験状況に起因していると考えられる。

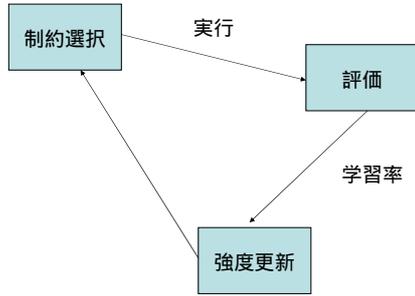


結果 (評定課題)



$F(3,56)=2.763, p<.05$

モデルの概略



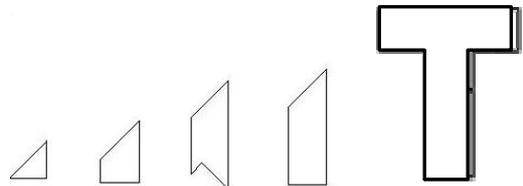
洞察の個人差の3つの源泉

- 制約の初期値
 - 洞察をする人は、はじめから制約が緩和されている。
そもそも頭のいい人, 柔らかい人
- 試行の評価(誤差の検知)
 - 洞察を行う人は、自らの試行の評価が適切である。
モニタリングが優れている人。
- 学習率(制約強度の更新率)
 - 洞察をする人は、評価によって制約強度(学習率)を大きく変更する。
柔軟な人

仮説

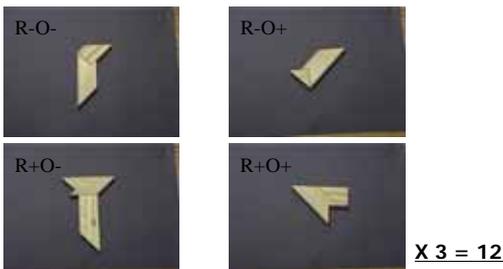
- 仮説1(制約強度の初期値)
 - 洞察をする人は、問題解決の初期から制約を逸脱した試行をより多く行う。
- 仮説2(評価の適切性)
 - 洞察をする人は、評価課題において、より適切な評価を行う。
- 仮説3(学習率)
 - 洞察をする人は、評価課題後の試行において制約をより逸脱する。

Tパズル



評定課題

Rate the closeness of the stimulus to the goal (10 point scale)



手続き

- 実験の流れ
 - パズルを解かせる(2,7分)
 - この間に解決できなかった被験者のみ選び出す。
 - 評定課題を行わせる(3x4パターン)
 - 評定終了後、パズル解決を再開。
 - 10分たて解けなかったらヒント(ノッチを埋めるな)
 - これ以降は分析しない。
-

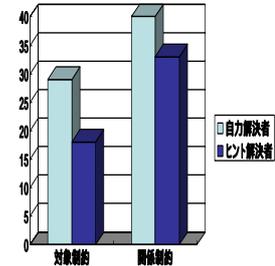
自力解決者とヒント解決者のパフォーマンス

	平均	Min	Max	Median
自力 N=7	384.9 42.7	189 23	573 70	445 39
ヒント N=19	918.8 80.7	629 50	1206 108	952 76

上段 時間(秒)
下段 セグメント数

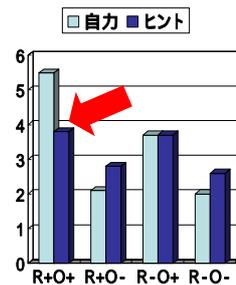
制約初期値の違い

- パズル開始から10セグメントまでの試行を分析した。
- 対象制約の逸脱頻度に、自力-ヒント解決の違いが現れた。
- 関係制約の逸脱は両者で差はなし。



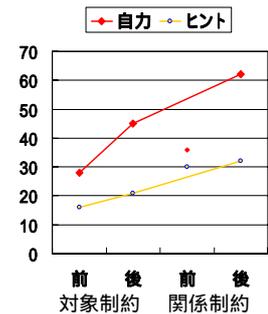
評価の適切性の差

- 分散分析の結果、各制約の主効果、および対象制約と群の交互作用傾向。
- R+O+図形について、自力解決者は高く評価を行う。
- 見込みのある図形に対して高い評価を行う(見込みのないものについては同様)。



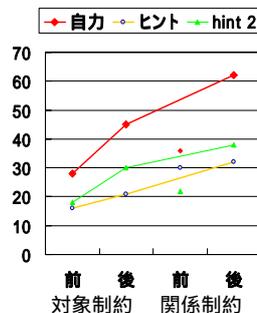
制約強度の更新率 その1

- 自力解決群:
 - 対象、関係の制約の逸脱頻度の上昇が見られた。
- ヒント解決群:
 - 対象制約の逸脱の頻度の上昇が見られた。
- しかし、これは評価の適切さの反映かもしれない。



制約強度の更新率 その2

- 自力解決者と同等の評価課題パフォーマンスのもの5名は、評価課題後に逸脱頻度の上昇が見られる。
- なぜ、適切な評価を行うヒント解決者にヒントが必要か?
- これらのヒント解決者の評価後の逸脱頻度(対象:30%, 関係38%)は、自力解決者の初期値(対象:28%, 関係:36%)程度にとどまる。



いくつかの問題

- 2分群と7分群では、評価前の試行に2.5倍程度の差がある。
- だとすれば、7分群はより制約が緩和されているはずであり、評価値に差がでなければおかしい。
- なぜ2分と7分では評価値に差がでなかったか。
- ゴールの利用のしやすさ
 - 被験者には実際に構成されるTを1/4に縮小した用紙が与えられた。
 - 重ね合わせるができない。
 - これによって試行の評価が適切に行われなかった可能性がある。

ゴール制約実験

- 構成されるTと同寸のTが印字されている型紙を与え、かつピースのうちの一つをその上に固定した。
- 被験者には残りの3つのピースでこの型紙を埋め尽くすようにと教示した。
- 被験者40名を
 - 固定図形の種類(3)
 - 型紙の有無(2)
 - の6つの群に分けた。
- 15分経って解けない場合は、ヒントを与えた。

ゴール制約実験の結果 解決時間

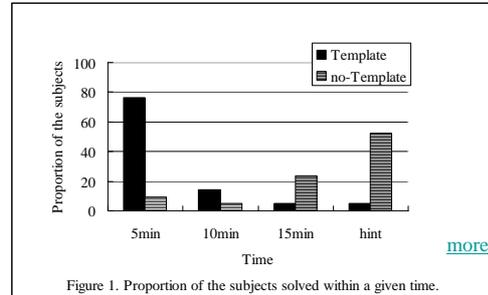


Figure 1. Proportion of the subjects solved within a given time.

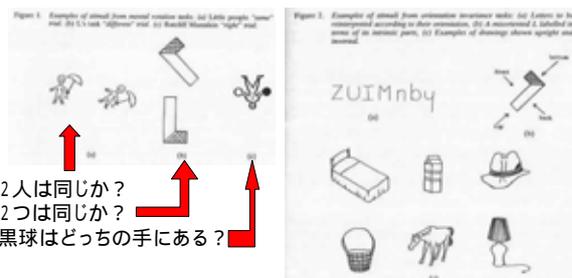
洞察の個人差のストーリー

- 自力解決者:
 - 初期から制約(特に対象)が緩和されており、逸脱を繰り返す。
 - 偶然に行った適切な試行を適切に評価する。
 - 制約(特に関係)をさらに緩和する。 **Aha!**
- ヒント解決者:
 - そもそも固定した制約にとらわれる。
 - 適切な試行の評価がうまくない。
 - 失敗により徐々に制約を緩和するが、微々たるもの。
ヒントください。

脳との接点 I(対象, 関係制約)

- 回転や接続により、ピースの空間的な配置を決定する Mental Rotationに関係?
- 配置に関わる運動的な情報の自動的生成
- 背側経路情報の利用?
- 右頭頂葉損傷患者のイメージ能力(Farah)
 - イメージを必要とする課題を健常者と同様に遂行可能。
 - イメージの再認: Ventral経路
 - イメージ回転: Dorsal経路

Farah & Hammond(1989)



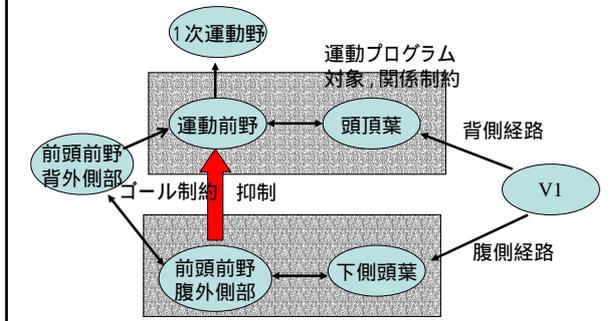
2人は同じか?
2つは同じか?
黒球はどちらの手にある?

回転させ、名前を言わせる

脳との接点 II(ゴール制約)

- ゴールのイメージを保持する機構=visual working memory
- このイメージと視覚からの情報とのマッチをとる(サルの見本合わせ課題における前頭前野(Walker12の賦活)
- 前頭前野背外側部から運動前野への情報によるプランニング
- 前頭前野腹外側部からの運動前野(視覚情報を生み出した系)への抑制(坂上)

坂上モデル (Sakagami et al. 2001)



洞察の図式

- 結局洞察は、自動的実行系への、前頭連合野からの抑制の一形態なのではないか？
- 関連する事象
 - Stroop (赤, 緑)
 - 類似判断, 類推 (関係類似性と対象類似性の拮抗)

理論の拡張: 洞察と発達の関係

- そもそも、両者はconceptual changeを含む過程である。
- impasse
 - 抜けだそうと努力しても抜け出せない。
 - 次の発達段階にいこうと思っても、なかなか移れない。
- illumination
 - 洞察は「洞察しちゃった」というケースが多い。
 - 発達も気がつくと「発達」している。

洞察と発達のメカニズム1

- 発達は内部メカニズムだけの問題ではなく、外的要因にも大きくコントロールされる。
- 教えれば出来るというわけではなく、教える内容と内的状態とのタイミングが重要。
- 洞察においても、内部的なヒューリスティクスだけではなく、
 - 特定の図形の配置
 - ヒント
 - 及びそれらのタイミング
- などの外的な制約の存在がクリティカルである。