

# ゲームによる子供の高次認知機能の可視化と 概念生成スキル開発

## Visualization of youth higher order cognition and development of concept creation skill

研究代表者 東京大学大学院 工学系研究科 技術経営戦略学専攻 博士課程 中村 潤  
Jun Nakamura, Ph.D. Candidate  
Department of technology Management for Innovation, Graduate School of Engineering,  
The University of Tokyo

### アブストラクト：

日本の「知」が衰えている。世界レベルでの比較調査では教育意識への低下が顕在化し、全国学力・学習状況調査では知識を活かしきれない実態があきらかになった。このような危機的な状況を問題意識として掲げ、本研究では子供に備わっている高次認知機能に着目し、仮想的な環境を用意して思考の活性化を促すことを狙いとする。ゲームを楽しみながら、自然と思考が活性化されるインターフェースをデザインすると同時に、子供の思考プロセスの可視化を行い、知識創造や知識を生かす思考のメカニズムの解明に向けて探索を行う。その結果、学習の現場や教材の開発につながればと願う。認知科学や人工知能などの学際的な研究として位置づけられる基礎的な領域でもあるため、思考活性化に加え、外国人との異文化交流、子供の商品への関心度合いを測るマーケティングや最近急増している子供の自閉症の早期発見支援など多様な応用開発分野への適用も想定している。

### Abstract:

Our life in Japan is matured in a time of plenty. Japanese consciousness toward education, however, is being decreased in comparison with other countries according to world wide survey. National level survey has revealed it becomes obvious that children could not exploit their knowledge to the full. Toward this critical situation, we are searching how to activate children's intellection, by focusing on their higher order cognitive process.

A web based environment has been developed for empirical study in designing interface so that players are expected to make enjoy categorization of words in analogical reasoning so as to make batch of words to produce new concepts. Through the analysis of the log data, visualization of children's cognitive process and exploring how to validate the children's intellection are the main objective of this research.

The motion capture analysis implies the developed environment would be potentially possible to become application to support higher order cognitive skill to produce new valuable words in combining various words.

### 1. 研究目的

本研究の目的は、言葉を創生する気づきのメカニズムを解明することである。そのために、人為的な外的要因によることばの解釈やことばの創生・変化の分析を行う。この目的を達成するために、人間にもつ高次認知機能であるアナロジー（類推）に着目し、ことばを束ねて概念を生成する環境を構築した。

筆者らは、気づきのメカニズムを解明することにより、人間の思考過程を可視化しユーザーフレンドリーなインターフェース

を構築し、現場での適用事例を1つでも世に出したいと考えている。ことばの解釈や創生の変化においては、人為的に何かを与えることにより子供の思考が活性化されていることを仮説・検証し、教育の立場からの評価を得たい。狙いとしては、学習における思考活性化の応用にむけた教材ツールとしての開発である。

学問的には、人工知能と認知科学の融合が進んでいる昨今、環境を構築する工学的なアプローチと実験的な認知科学の研究手法も取り入れる。このことにより、データ

をとまなう思考過程の時系列モデリングの議論を進めることができると考えている。

社会的価値としては、学びの意識が北京・ワシントン・ロンドンに比べ大幅に低い結果となった(ベネッセ教育研究開発センター)衰えつつある日本の「知」の再生に向けて少しでも貢献したいと願っており、本研究が知識の活用を考える契機となり教育や学習の現場に生かすことができればと考えている。

## 2. 研究経過

### 2.1 実験の手順

本実験において準備した環境は、ランダムに選ばれた一般名詞が書き込まれている単語カード 20 枚を PC のディスプレイ上に用意し、デスクトップにおけるドラッグ操作によって単語カードを移動させることができる簡単なシステムである。画面イメージを図 1 に示す。



図 1 画面イメージ

被験者は、以下の操作を行う。

- 1) 20 枚のカードをドラッグしながら、5 つ以内のグループに分類する。
- 2) 各単語カードには 5 種類の色から 1 色を選択して着色でき、同グループであれば同色を着色する。
- 3) 被験者が考えた文脈に応じて単語カードの持つ意味を入力する。
- 4) 得られた各グループに、被験者は概念名(「その他」は 5 グループへの分類を拒否しているため禁止)を付けて記入する。
- 5) 全ての単語がいずれかのグループに属し、どのグループにも概念名が付与されたら終了。

### 2.2 実験の被験者

高次認知機能の可視化に向けた実験<そ

の 1 > は、学生(一部社会人も含む) 12 名に対して 1 人当たり 2 回ずつ実施した。1 回目は分類の条件にヒントを与えず、2 回目は特定の社会的テーマ(環境)を考慮するようヒントを与えた。

次に、概念生成のスキル開発に着目した実験<その 2 >では、ゲームとしてのスコア指標を設定し、中学生の野球部員 38 名を対象にヒント無しのゲームを実施した。

尚、単語カードは、野球、富士山、パーベキューなど平易な単語が記載されている。

### 2.3 実験のコンセプト

前節で「その他」あるいは無名のグループの生成をあえて禁じたのは、人に負荷をかけることでかえって思考が活性化されると想定しているからである。即ち、20 枚の単語を分類すると、どのグループにも当てはめにくい単語カードが何枚が残ってもおかしくはない。しかし、残ったカードを全ていずれかのグループの概念と結びつけようとする、グループの編成をやり直し、図 2 のように新たな概念が創造される、という思考モデルである。

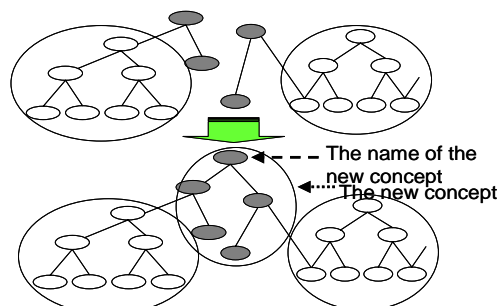


図 2 概念創造の思考モデル

概念生成の認知過程に関しては、さまざまな研究がなされている。創造的な思考をモデル化した Finke らが提唱したジェネプロア・モデル(Finke et al., 1992)は、認知過程が生成される部分と探索の解釈部分とのサイクルをモデル化した。発想法として知られる KJ 法(川喜多, 1967)では、単語間を関連づける試行錯誤の過程から、要素間の前後や構造的な関係性に気づく効果を利用する。本研究では、探索と解釈の過程において分類しづらい単語に注目し、当該単語を余らせないルールを導入によって新しい概念を創造することを想定した。

創造的思考には、人間にしか備わってい

ない高次認知機能である類推が寄与するとされてきた (Holyoak & Thagard, 1995). この類推を促すように、複数の単語カードを用意し(ベース)、分類したグループに概念名(ターゲット)を付す設計とした。

### 3. 研究成果

#### 3.1 動作履歴と分析<実験1>

実験で得られるデータは、被験者毎に単語カード毎の移動・塗色・意味入力を秒単位でとらえることができ、概念入力内容も記録される。このデータをもとに、20枚のある単語カード  $C_i$  を選択した確率を  $P(i)$  で与え、所要時間を50で正規化する。(1)式のエントロピー計算により、被験者が特定の単語カードにこだわりをもつか、全体に均等に操作するか(本論文ではこれを分散度と呼ぶ)が判定できる。前者であれば  $I$  の値は小さくなり、後者であれば  $I$  の値は大きくなる。

$$I = -\sum_{i=1}^{20} \sum_{l=1}^{50} P_l(i) \log P_l(i) \quad (1)$$

この分散度と所要時間をプロットし、被験者の特徴を分析する(分析A)。更に、ヒント有の場合の動作行動の特徴を探索し(分析B)最後に概念創造のケースを紹介する(分析C)。

#### 3.2 分析A(速攻型・熟考型の区分)

横軸に所要時間、縦軸に分散度として被験者を図3のようにプロットした。すると、行動が早く全体を鳥瞰するタイプ(速攻型)と、行動に時間をかけ特定の単語にこだわるタイプ(熟考型)が抽出された ( $t=2.50165$ ,  $df=30$ ,  $p<0.005$ )。

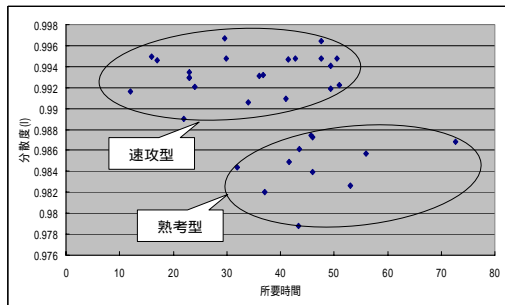


図3: 所要時間と分散度

#### 3.3 分析B(ヒント有)

ヒント有の場合で熟考型・速攻型を区分けしたものを図4に示す。すると、それ

ぞれの行動の緩急パターンに極端な差異があることがわかる。ヒントの有無でも対比は可能であるが、熟考型は特にヒントを与えることが思考の深さ(ここでは動作時間やスピードで表現される)に影響を与えていることを示唆している。

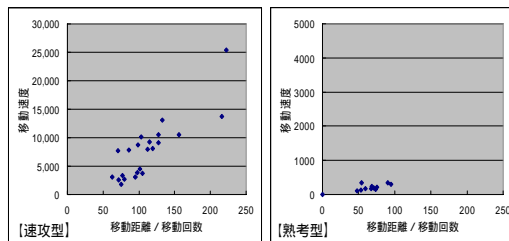


図4: ヒント有の移動距離/移動回数と移動速度

#### 3.4 分析C(ケース紹介)

熟考型でヒント有りのケースでは、例えばゲーム中盤まで余らせていた「野球」という単語カードに独自の解釈として米国で活躍した「野茂選手」を入力し、同時に「寿司」という単語カードによって「海外進出か!」という気づきの発話とともに、概念名{海外進出}が入力された。このように複数のベースからターゲットを発見するときに類推が作用している可能性がある。

また、単語の意味解釈をシフトさせながら概念生成するタイミングは、分散度が低くなる(集中度が高まる)図5のStep2に集中していることが判明した。

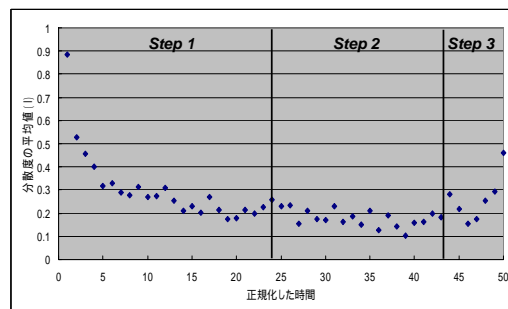


図5: 分散度の推移

この他に、単語カードの移動タイミングを測定すると、移動させて色や意味を入力する集団と、色や意味を入力してから移動させる集団、すなわち走りながら考えるか、考えてから走るか、の2つの思考パターンも観察された。

#### 3.5 概念生成スキルのスコア化<実験2>

将来の教材として、ゲームとして、スコアリング評価につなげるための理論的な枠

組みを設定した。その方法は、実験を開始する時点で与えられた単語カードの組合せと、実験終了時の単語カードの組合せの変化の度合いを測ることと定義した。

ここで実験開始時の  $i$  番目のカードと  $j$  番目の単語カードの組み合わせを  $C_{ij}$  と表現し (但し、 $1 \leq i \leq 20, 1 \leq j \leq 20$ )、実験終了時の組み合わせを  $E_{ij}$  とすると、 $E_{ij} = C_{ij}$  のときは 0、 $E_{ij} \neq C_{ij}$  のときは 1 とする。すなわち、すべてのカードの組合せの変化の度合い  $P$  は(2)と表現できる。

$$P = \sum_{i,j=1}^{20} (E_{ij} - C_{ij}) \dots (2)$$

次に、各グループに含まれるカード数に着目し、その変化の度合いを計測する。これはグループのサイズ・数により左右するので、構造的な変化と考えられる。

実験開始時のグループ数を  $m$ 、実験終了時のグループ数を  $n$  とし (但し、 $1 \leq m \leq 20, 1 \leq n \leq 20$ )、各グループに含まれるカード数を  $S_m, T_n$  とすると、各グループに含まれるカード数の変化の度合いを (3)と表現する。

$$Q = \sum_{i=m,n}^{20} (T_n^2 - S_m^2) \dots (3)$$

ここで組み合わせの変化と、構成されるカード数の変化を、総合的に判断材料とするため、そのスコアを(4)と定義し、本論文では概念生成スキルの度合いと解釈する。

$$S = P \times Q \dots (4)$$

### 3.6 ゲーム実施とスコア指標結果

組合せならびに構造変化の計測結果は、表 1 の通りである。

表 1 実験環境によるポジション別指標結果一覧

ポジション	組合せ(1)		構造変化(2)		スコア(3)
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均
投手	81.8	16	16.50	22	1,520
捕手	66.0	12	8.25	5	577
内野手	65.5	22	8.38	5	587
外野手	64.0	19	13.31	11	898

明らかに、投手が他のポジションよりも計測値に差が開いているのがわかる。これは、投手がプロアクティブなポジションである一方で、他のポジションは投げられた、あるいは打たれたボールへのリアクティブな行動が要求されるポジションの違いが、

思考パターンに影響している可能性がある。

### 3.7 まとめ

オンライン上で動作するゲームは、動作履歴が記録されるので、分析 A,B,C のようにさまざまな高次認知過程を可視化することができた。さらに、導入したスコア指標は、投手の特性が反映された結果より、組み合わせによる概念生成スキルを評価できる可能性を示唆している。

## 4. 今後の課題と発展

本論文の主題は、概念生成モデルを設定したうえで、認知過程を可視化できる環境の開発に主軸をおいている。筆者らが開発してきた実験環境は、類推行動する被験者の動作履歴を客観的かつリアルタイムにデータ化する技術を導入した点で、新たな研究手法を提示するものと位置づけられる。

今後は、概念生成スキルの可視化にとどまらず、真の教材の開発に向けて当該ゲームによってスキルの向上が動的に示されることである。

## 5. 引用文献

Finke, R.A., Ward, T.B., & Smith, S.M. (1992). *Creative Cognition*, The MIT Press, Cambridge.  
 川喜多二郎. (1967). 発想法, 中央公論社  
 Holyoak, R.A., & Thagard, P. (1995). *Mental Leaps, Analogy in Creative Thought*, MIT Press, Cambridge.

## 6. 謝辞

本研究の実施にあたり、ご協力いただいた江戸川区立上一色中学校の野球部員ならびに監督をはじめ被験者の方々には、深く感謝申し上げます。

## 7. 発表論文リスト

1. 中村潤, 大澤幸生: 高次認知機能を伴う創造的認知過程の可視化技法, 第 25 回 日本認知科学会 全国大会, 2008
2. 中村潤, 大澤幸生: 中学野球における投手と創造性思考との関係性, ことば工学研究会, 2008