

# 共有認知空間の差異が協調的発見に与える影響

## Effects of Degree of Shared Cognitive Space on Collaborative Discovery Processes

三輪 和久  
Kazuhisa Miwa

名古屋大学大学院人間情報学研究科  
Graduate School of Human Informatics, Nagoya University  
miwa@cog.human.nagoya-u.ac.jp, <http://www.cog.human.nagoya-u.ac.jp/~miwa/>

**Keywords:** scientific discovery, hypothesis testing, collaboration

### Summary

We investigated collaborative discovery processes using interactive production systems. We controlled the degree of sharing cognitive space: (a) the experimental space was only shared, (b) the hypothesis space was also shared, and (c) these two kinds of space were integrated. We compared the performance of finding targets in the three types of collaboration above with the performance in the case of two systems independently finding targets. If the performance in the former cases exceeds that in the latter case, we approve of emergence brought by interaction by the two systems. The results of the computer simulations were consistent with our ordinary knowledge on collaboration. That is, as the extent of sharing common space is larger and two interactive systems perform deeper collaboration, the effects of interaction gradually increase. If two systems obtain the maximum effects of collaboration by exchanging intellectually mutual information, collaboration produces emergence.

### 1. はじめに

科学史上の重要な発見は、一人の天才によつてなされるばかりではない。例えば、今世紀最大の科学的発見の一つと考えられる DNA の二重螺旋モデルの発見は、ワトソンとクリックの協同によつて行われたものであるし [ワトソン 86]、量子力学の成立には、同時期に輩出した数多くの物理学者が関わっている [ハイゼンベルグ 74]。また、本論文にも深く関わる認知科学の成立期において、Herbert Simon は、その学生であつた Allen Newell との協同のうちに、その後の認知科学の歴史を決定づける様々な問題解決に関する基礎的な理論を発表した [Simon 96]。これらの科学史上の事実は、協同して発見的活動を行うことの利益を示しているように思われる。

協同にも、様々な段階が存在することに注意しなければならない。例えば、同じ研究室で、日頃から意見を交換し合いながら一緒に研究するという協同のスタイルもあれば、一定の成果があがった段階ではじめて、その成果に対して意見を求めるという形もある。また、公刊された論文を介して、何十年も以前に行われた実験の結果を知るといふような場合も、過去の研究者との間に生じた協同の一種と考えることができる。

前者と後者の協同の段階の差異は、共有される「認知空間」の違いによつて整理できる。前者の協同では、互いの仮説やアイデアの相互作用が存在するのに対して、後者では、実験結果としてのデータの相互作用しか生じな

い。すなわち、後者が「実験空間」だけしか分かち合われていないのに対して、前者では互いの「仮説空間」も共有されている [Klahr 88]。

直観的には、共有される認知空間の差異によつて、協同の効果は大きく変動すると考えられるが、認知空間の共有の程度を明確に統制して行なわれた実証的検討は見当たらない。そこで、本研究では、(1) 実験空間だけが共有される状況、(2) 実験空間に加えて仮説空間をも共有される状況、(3) 実験空間と仮説空間が統合される状況という三つの段階を明確に定義し、それぞれの段階において、協同の効果がどのように変動するのかを、計算機シミュレーションを通して実証的に検討する。

さて、上に述べたような問題を考えるにあつては、協同の利得を評価するものさしが必要となる。そのために、「創発」という概念を定義する [亀田 97]。通常、一人で問題を解くよりも、二人で問題を解いた時の方がより高いパフォーマンスを示すことは、経験的にも理解できる。しかし、この場合、相互作用による創発が現れたとはみなさない。

本論文では、創発の定義に関して、次のような状況を考える。

- 独立条件: 二人の探索者は、相互作用することなく、独立してターゲットを発見する。これは、二人の探索者が、別々の部屋で独立して問題を解決する状況に対応する。
- 協調条件: 二人の探索者は相互作用する。すなわち、

二人の探索者が、実験結果を参照し合ったり、互いに話し合いながら、一緒に問題を解く。

ここで、後者のパフォーマンスが前者を上回る時、創発が現れたとみなす。

創発の定義は様々なものがあり、パフォーマンスの比較だけからは創発の出現は確認されないという立場もあるが、ここでは、相互作用の利得がパフォーマンスに現れたことをもって創発の定義とする。

本研究では、「発見」の中でも「実験」を伴う発見を対象とする。実験を伴う発見の典型としての、物理学や化学、生物学などの自然科学の法則の発見に決まって現れるのが、仮説形成検証過程である。

人間の仮説形成検証過程に関する、実験心理学的研究の一つとして、心理学的実験室で、被験者に簡単な発見課題を解かせ、その過程に現れる仮説検証過程を分析するという研究スタイルがある。すなわち、心理学的実験室の中で、仮想的な科学的発見の状況を作りだし、被験者に発見の過程を疑似的に体験させるというアプローチである。本研究では、そのような研究パラダイムの上で、二人の探索者の協同による発見が、前述の創発を導く可能性を検討する。そのために、発見過程のモデルを計算機上に構築し、心理実験的アプローチではなく、計算機シミュレーションを通じた実証的検討を行なう。

## 2. 認知心理学的アプローチに基づく先行研究の概観

### 2.1 The Wason's 2-4-6 task

上記の研究アプローチにおいて、好んで用いられてきた発見課題の一つとして、Wason の 2-4-6 課題というものがある [Wason 60]。

本研究でも、この 2-4-6 課題を取り上げる。以下、2-4-6 課題の実験手続きを説明する。表 1 は、典型的な実験結果の例である。2-4-6 課題における被験者の課題は、次々に提示される三対の数字の組の規則性を発見するというものである。被験者が発見すべきターゲットは、「一桁の数」である。典型的実験では、はじめに [2, 4, 6] という数字の組が、Yes というフィードバック（以下、Yes-FB と略す）とともに与えられる。ここで、Yes-FB は、その数字の組が発見すべきターゲットの「正事例」であることを、逆に No-FB は「負事例」であることを示す。被験者は、提示された事例に基づいて「仮説」を形成する。表 1 では、まずはじめに「連続する偶数」という仮説を形成している。

次に、被験者は「実験」を行う。実験とは、自ら数字列を作りだし、それを実験者に提示することである。表 1 では、連続する偶数という仮説に基づいて、[4, 6, 8] という事例を用いて実験を行なっている。被験者は、実験者より、提示された事例に対して、Yes-FB、もしくは No-FB いずれかを受け取る。そのフィードバックに基づいて、仮

表 1 Wason の 2-4-6 課題の発見過程の例

仮説	生成事例	方略	フィードバック
-	2, 4, 6	-	Yes
連続する偶数	4, 6, 8	Ptest	Yes
連続する偶数	20, 22, 24	Ptest	No
24の約数	8, 8, 8	Ptest	Yes
24の約数	18, 100, 2	Ntest	No
24の約数	8, 6, 4	Ptest	Yes
24の約数	24, 12, 8	Ptest	No
一桁の数	1, 1, 5	Ptest	Yes

説を「確認」(保持)したり、「反証」(一般に仮説の修正を伴う)したりしながら、最終的にターゲットを発見したと確信が得られるまで実験を繰り返す。

### 2.2 反証の生起状況

仮説形成検証を伴って、科学的真理を発見するプロセスにおいて、とりわけ科学哲学の領域で伝統的に強調されてきたのが、仮説の反証の重要性である [Popper 59]。反証は、仮説の修正を導き、一般に仮説の修正機会の増加に従って、ターゲットが発見される可能性は高くなる。

Klayman らは、反証が生起する状況を、仮説とターゲットの関係に着目して以下のように整理している [Klayman 87]。仮説に対する正事例を用いた仮説検証をポジティブテスト（以下、Ptest と略す）、負事例を用いた仮説検証をネガティブテスト（Ntest）と言う。混乱を避けるために、以下では、「仮説」に対しては正（ポジティブ）、負（ネガティブ）、「ターゲット」に対しては Yes, No という表記を使い分けることとする。

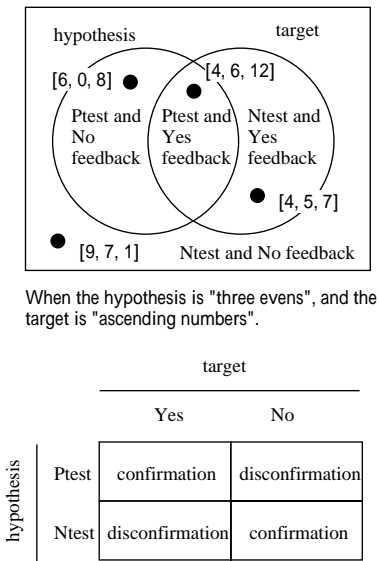
確認 (confirmation)、および反証 (disconfirmation) は、仮説に基づく仮説検証法 (Ptest or Ntest) とターゲットに基づく実験者からのフィードバック (Yes-FB or No-FB) の関係に基づいて現れる。図 1 は、仮説が「三つの偶数」、ターゲットが「増加する数」の場合における確認、反証のパターンを示したものである。図 1 において、例えば、[6, 0, 8] という事例による実験は、Ptest と No-FB の組み合わせになり「反証」が生じる。反証が生じるもう一つの状況は、Ntest と Yes-FB の組み合わせ（例えば、[4, 5, 7] による実験）である。Ptest と Yes-FB の組み合わせ（例えば、[4, 6, 12] による実験）や、Ntest と No-FB の組み合わせ（例えば、[9, 7, 1] による実験）では、仮説は「確認」される。

ここで、以上のパターンを、表 1 の例でも確認されたい。

## 3. 共有の段階と創発の定義

本研究では、上に述べた 2-4-6 課題を用いて、二つのプロダクションシステムが、協調してターゲットを発見する過程をシミュレートする。

以下では、協調における認知空間の共有の度合いを三段



階に分けて設定し、相互作用における創発の定義を行う。

3.1 独立条件

まず、二つのシステムが、独立してターゲットを発見する状況を考える(図2(a)参照)。この場合、二つのシステムは、相互作用することなく、別々にターゲットを探索する。二つのシステムによって得られた二つの最終仮説のうち少なくとも一つが、ターゲットと一致していれば、二つのシステムは独立してターゲットを発見したものとみなす。

3.2 協調条件

以下に続く三つの状況は、共有される認知空間の程度に応じて、協調的発見過程の三つの段階に対応する [Miwa 99a]。ここでは、二つのシステムは協同でターゲットを探索する。独立条件の場合と同じように、二つのシステムによって得られた二つの最終仮説のうち少なくとも一つがターゲットに一致すれば、二つのシステムは協同してターゲットを発見したことになる。

[1] 実験空間だけの共有

まずは「実験空間」だけの共有の段階である(図2(b)参照)。二つのシステムは、1回目の実験はシステムAによって、2回目の実験はシステムBによって、3回目の実験はシステムAによって...というように、交互に実験を行う。実験結果は、両方のシステムにフィードバックされる。

この段階では、各システムは、相互の実験結果だけを知ることが許され、相手のシステムがどのような仮説を形成しているのかを知らない。これは、二人の人間が、話し合うことが許されず、単に互いの実験結果だけを共有するような状況に対応する。

[2] 仮説空間の共有

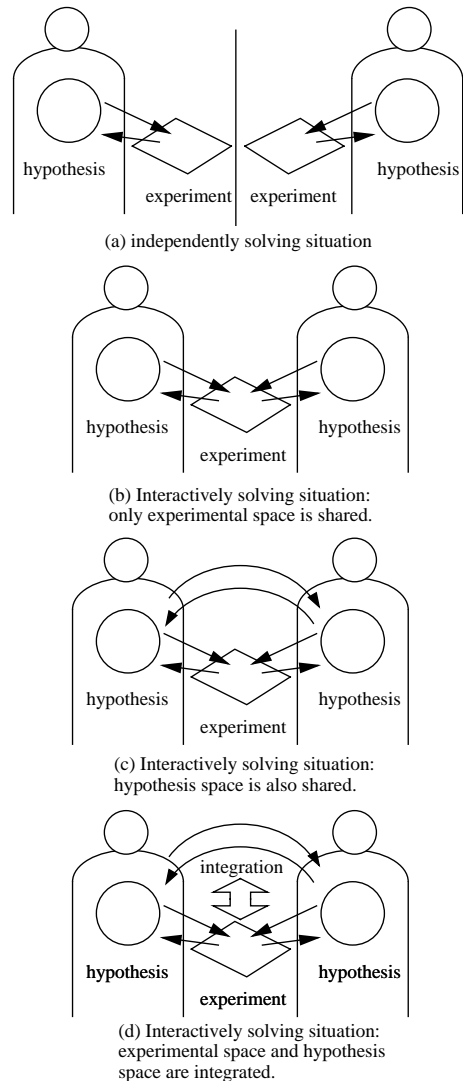


図 2 認知空間の共有の程度

次には、先の実験空間に加えて、「仮説空間」をも共有する段階である(図2(c)参照)。この段階では、各システムは、仮説を形成する時に、相手のシステムが持つ仮説を参照して、自身の仮説を決定することができる。二人の人間が話し合いながら、ターゲットを探索するような状況がこれに対応する。

本シミュレーションにおける相手のシステムの仮説参照のあり方は、単純である。相手の仮説を知った各システムは、以下のいずれかの原則に従って自身の仮説を形成する。すなわち、(a) 相手の仮説と「異なった仮説」を形成する、(b) 相手の仮説に「オーバーラップした仮説」を形成する、(c) 相手の仮説を「特殊化した仮説」を形成する、(d) 相手の仮説を「一般化した仮説」を形成する。オーバーラップ、特殊化、一般化の定義は、図3を参照のこと。

ここで注意しなければならないのは、この段階と、次の「実験空間と仮説空間の統合」の段階との違いである。仮説空間を共有する段階では、相手の仮説の情報は、自

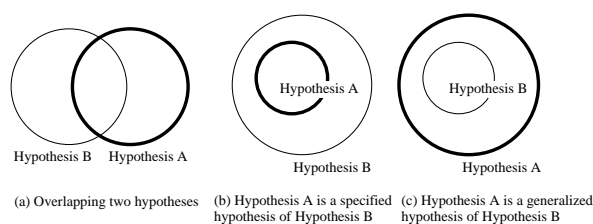


図 3 二つの仮説の関係

身の仮説を形成する時にしか使用することができない。すなわち、実験において、相手の仮説の情報を参照して、事例生成を計画することができない。この段階では、実験において参照できるのは、自身の仮説のみである。

### [3] 実験空間と仮説空間の統合

実験空間と仮説空間を統合することによって、実験においても、相手の仮説の情報を利用することができるようになる(図 2(d) 参照)。実験の事例生成における相手のシステムの仮説の参照のあり方については、5. 4 にて後述する。

### 3.3 創発の定義

以上、独立条件と、三段階の協調条件について述べた。ここで、二つのシステムの相互作用による創発は、次のように定義される。

まず、独立条件におけるパフォーマンス(ターゲット発見の正答率)をベースパフォーマンスとする。次に、協調条件の三段階のそれぞれのパフォーマンスが、そのベースパフォーマンスを上回れば、その協調の段階で創発現象が現れたとみなす。

## 4. 計算機モデル

### 4.1 インタラクティブプロダクションシステム

3. で述べたようなプロセスを、計算機上でシミュレートするために、協調プロダクションシステム(以下、Interactive Production System; IPS と略す)のアーキテクチャを開発した。図 4 に IPS の基本仕様を示す。IPS は、システム A、およびシステム B の「プロダクションメモリ」、「ワーキングメモリ」(作業記憶)、および「共通の黒板」から構成される。二つのシステムは、片方のシステムが、そのワーキングメモリの内容の一部を共通黒板に書き込み、他方のシステムがそれを共通黒板から自身のワーキングメモリ内に読み込むことによって相互作用する。

### 4.2 数字の規則性に関する知識と仮説形成

2-4-6 課題を解決するプロダクションシステムモデルがこの IPS の上に構築されている [Miwa 96]。モデルは、三対の数字の規則性に関する知識を持っている。知識は、「属性-値リスト」の形で組織化されている。例えば、「昇

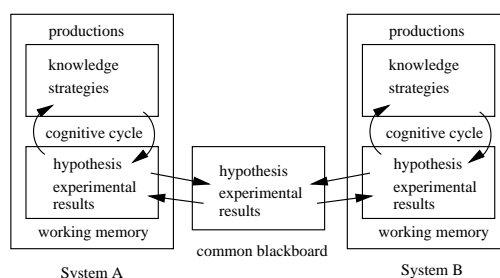


図 4 協調プロダクションシステムアーキテクチャ

降」という属性に対しては、「増化する数」、「減少する数」、「同一かもしくは増化する数」、「同一かもしくは減少する数」、「減少して増加する数」、「増加して減少する数」、「同一の数」がその値の例である。システムが持つ規則性の属性は、昇降、数字間の差、偶数/奇数、範囲、スロット、倍数、約数、和、積、関係式、その他である。

システムは、属性-値リストを探索して、得られている実験結果(Yes-FB, もしくは No-FB のタグがつけられた事例)に矛盾しない仮説の候補群を同定する。基本的には、仮説は、それらの候補群の中から、ランダムに選ばれる。しかし、「連続する偶数」、「三つの偶数」、「二つの数字の差が 2」という三つの仮説だけは特別である。[2, 4, 6] という第一事例が提示されると、多くの人間被験者は、まずこれらの三つ仮説のうちのいずれかを形成する機会が多いことが知られている。そのために、本モデルにおいても、他の仮説に優先してこれらの仮説が取り上げられるように設定されている。

## 5. シミュレーション結果

上の IPS を用い、共有される認知空間を三段階にコントロールして行つたシミュレーションの結果を示し、協調的発見における創発の可能性を検討する。

### 5.1 シミュレーションの概要

以下のシミュレーションでは、独立条件、および協調条件の三段階のそれぞれにおいて、35 個のターゲットを発見させている。表 2 に、実験に用いたターゲットを示す。

まず、一つのターゲットに関して、計 30 回のシミュレーションを繰り返し、各ターゲットごとの正答率を求める。次に、35 個のターゲットの正答率の平均を求め、それをパフォーマンスの評価値とする。

また、二つのシステムの仮説検証方略の組み合わせとして、(1) Ptest 方略 × Ptest 方略、(2) Ntest 方略 × Ntest 方略、(3) Ptest 方略 × Ntest 方略、(4) Rtest 方略 × Rtest 方略の 4 種類を考える。ここで、Ptest 方略とは、仮説検証において常に Ptest を用いる方略、Ntest 方略とは、常に Ntest を用いる方略を示す。さらに、Rtest 方略とは、ランダムに事例を生成する方略を示し、すな

表2 シミュレーションに用いた 35 種類のターゲット

属性	ターゲット
昇降	増加する数, 等しいか増加する数
数字間の差	二つの数字の差が2, 二つの数字の差が同じ
偶数/奇数	連続する偶数, 三つの偶数
範囲	一桁の数, 正の数
スロット	一番目が偶数, 二番目が偶数, 三番目が偶数, 一番目が2, 二番目が4, 三番目が6
倍数	2の倍数
約数	12の約数, 24の約数
和	合計が偶数, 合計が二桁の数, 合計が正の数, 合計が12, 合計が12の倍数, 合計が6の倍数, 合計が4の倍数, 合計が3の倍数, 合計が2の倍数
積	積が偶数, 積が二桁の数, 積が正の数, 積が48
関係式	三番目=一番目+二番目, 三番目=一番目×二番目-2, 三番目=一番目×3・二番目=一番目×2, 三番目=一番目×n・二番目=一番目×m
その他	三つの異なる数

わち実験において仮説を使用しない方略である。

### 5.2 実験空間だけの共有

まずは、実験空間だけの共有における協調である [Miwa 99b]. 上に述べた四つの仮説検証方略の組み合わせのそれぞれにおいて、実験空間だけが共有された場合のパフォーマンスと、独立条件におけるベースパフォーマンスとの比較を示したものが、図5である。図5の横軸は、生成された事例の回数、すなわち実験の回数を示している。縦軸は、パフォーマンス(ターゲット発見の正答率の平均)を示す。

以降の図において、\*、\*\* は、それぞれ5%、1%の危険率で、独立条件のパフォーマンスが協調条件のそれを上回ったことを示し、逆に、#、## は、それぞれ5%、1%の危険率で、協調条件のパフォーマンスが独立条件のそれを上回ったことを示している。n.s. は、両者の間に統計的有意差が存在しないことを表す。

図5より、一般的にみて、実験空間が共有されるだけでは、いかなる方略の組み合わせにおいても、創発は生じないばかりか、むしろ独立条件の方が、協調条件よりも高いパフォーマンスを示す場合があることがわかる。

しかし、Ptest 方略と Ntest 方略の組み合わせで、20回の実験が許された場合において、協調条件のパフォーマンスが独立条件のそれを上回ることが観察された。以上は、二つのシステムが異なる仮説検証方略を用い、かつ十分な実験が許される場合には、創発の可能性が現れることを示唆している。

大切なことは、この実験空間が共有されるだけの協調では、それぞれのシステムにおいて、作業記憶の能力の拡張や、新しいプロダクションルールの追加を必要としないということである。二つのシステムは、ただ単に互いの実験結果を交換し合うだけである。本シミュレーションの結果は、そのような単純な相互作用においても、創発

の可能性が存在していることを示している。

### 5.3 仮説空間の共有

次に、二つのシステムが、実験空間に加えて、仮説空間をも共有する場合について考えてみよう。3. 2[2] に示した「異なった仮説」「オーバーラップする仮説」「特殊化された仮説」「一般化された仮説」という四つの仮説形成の方法のそれぞれにおいて、協調条件と独立条件のパフォーマンスの比較を示したものが、図6である。図6の下段には、上から順に、上記の四つの仮説形成の方法における、独立条件と協調条件のパフォーマンス比較の統計的検定の結果が示されている。

図6の全体的特徴は、以下のようにまとめられる。

二つのシステムが共に Ptest 方略を用いる条件(図6(a))において、仮説空間が共有されることの効果は絶大である。「特殊化された仮説」を生成する条件を除いて、協調条件のパフォーマンスは、独立条件のそれを著しく上回っている。一方、他の三つの仮説検証方略の組み合わせ(図6(b), (c), (d))においては、このような顕著な創発現象は確認されない。

それではなぜ、共に Ptest 方略を用いた二つのシステムの協調には、創発現象が現れるのであろうか。

ある仮説とターゲットの関係が生じている時、Ptest、もしくは Ntest によつては、決して反証が生じない状態が存在する。具体的には、図7(a)における Ptest、図7(b)における Ntest は、いかなる状況においても反証を導かない。なぜなら、それぞれの状況では、上述した反証が生じる仮説検証法とフィードバックの関係が生じないからである(図1参照)。

人間被験者は、第一事例として [2, 4, 6] が提示された場合には、仮説として「連続する偶数」「三つの偶数」「二つの数字の差が2」のいずれかを形成する場合が多く、本論文のシミュレーションにおいても、モデルにこの傾向が設定されている(4. 2参照)。この場合、仮説とターゲットの関係は、これらの仮説の正事例の全事例に対する割合が小さいことから—とりわけ、全事例に対するターゲット正事例(Yes事例)の比率が大きなターゲット(これを、一般的なターゲットという)を発見する場合には—、図7(a)の状況になりやすい。ここで、Ptest を用いて仮説検証を行うと、仮説の反証が妨げられ、その結果ターゲット発見が阻害されることが予想される。実際、人間被験者による実験では、人間は Ptest を好んで行うポジティブテストバイアスが存在し、この傾向が、しばしば特に一般的なターゲットの発見を阻害することが報告されている [Wason 60]。

さて、本シミュレーションにおいて、Ptest 方略× Ptest 方略の仮説検証の組み合わせによる独立条件のパフォーマンスが、一定の値を超えないことは、同様の理由による。しかし、その状況において、仮説空間を共有する場合、システムは、相手の仮説 H を参照して、その仮説と

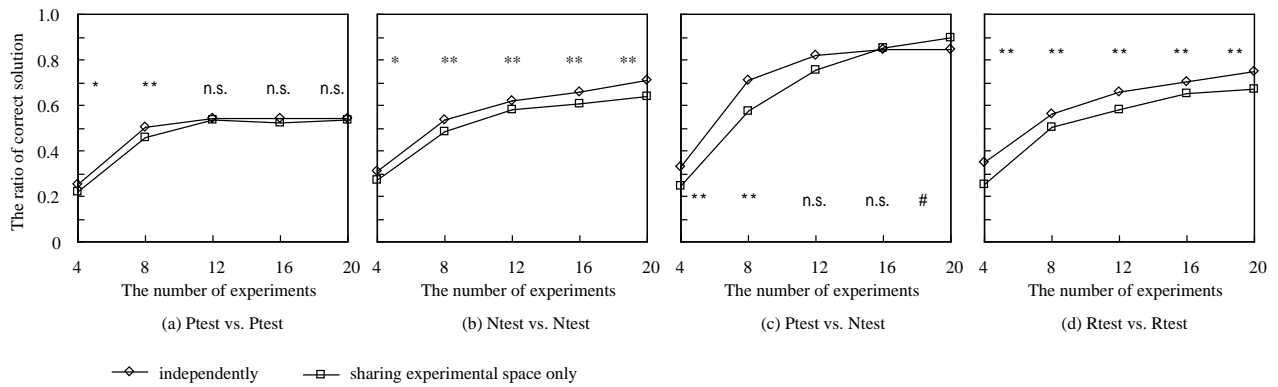


図5 実験空間だけが共有された場合のパフォーマンス

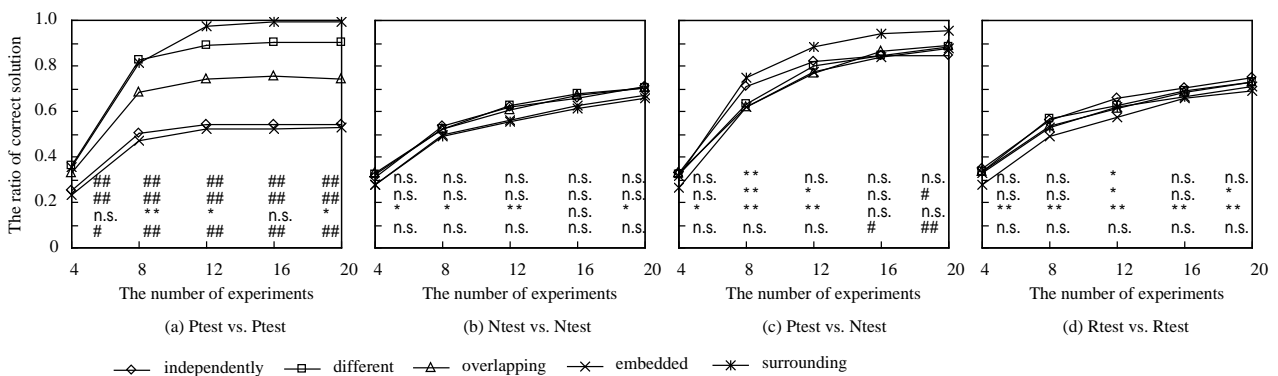


図6 実験空間に加えて仮説空間も共有された場合のパフォーマンス

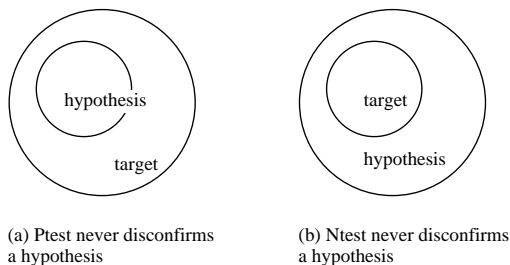


図7 Ptest もしくは Ntest が反証を導かない状況

様々な異なった仮説  $H'$  を形成しようとする。図7(a)の関係にある仮説  $H$  とターゲットに関して、仮説  $H'$  は、この関係から外れる可能性がある。その仮説  $H'$  の Ptest により、仮説  $H$ 、仮説  $H'$  が反証が導かれる場合がある。その結果、協調条件のパフォーマンスの著しい向上がもたらされたものと考えられる。

#### 5.4 実験空間と仮説空間の統合

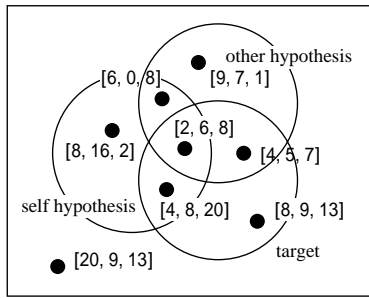
この段階では、システムは、実験における事例の生成において、相手の仮説の情報を用いることができるようになる。その結果、仮説検証法は、自分の仮説と相手の仮説という二つの仮説に基づいて定義されることになる。そこで、P-Ptest, N-Ntest, P-Ntest, N-Ptest という四つの仮説検証法を定義する。例えば、P-Ntest とは、自分の仮説に対しては正事例、相手の仮説に対しては負事例と

なるような事例を用いて仮説検証を行う方法である。図8は、それぞれのテストを用いた場合、実験結果の Yes-FB、もしくは No-FB による、自分の仮説、相手の仮説に関する確証、反証のパターンを示したものである。図8では、自身の仮説が「三つの偶数」、相手の仮説が「一桁の数」、ターゲットが「増加する数」という場合における、それぞれの組み合わせに対応する事例を例示している。

図9は、ここで述べた四つの仮説検証方略を用いてターゲットを発見させた場合のシミュレーション結果である。

さて、仮説空間と実験空間を統合することの重要な利得は、システムが「診断テスト」(diagnostic test) という仮説検証法を用いることができるようになるということである [Klayman 89, Platt 64]。診断テストとは、二つの対立仮説を準備し、実験の結果、競合仮説のうち少なくとも一つの仮説が反証されるような仮説検証の方法である。図8からもわかるように、P-Ntest と N-Ptest が、ちょうどこの診断テストに対応する。

そこで、仮説検証において、常に P-Ntest、もしくは N-Ptest のいずれかが用いられるような状況を設定し行ったシミュレーションの結果が図10である。図10には、5.2, 5.3 で用いた四つの仮説検証方略の組み合わせによる、独立条件のパフォーマンスも併せて示してある。図10より、システムが、仮説空間、および実験空間を統合し、診断テストを行うことができれば、協調条件のパフォーマンスは、独立条件のいずれの仮説検証の組み合わせの



When the self hypothesis is "three evens", the other hypothesis is "single digits", and the target is "ascending numbers".

		target	
		Yes	No
hypothesis	P-Ptest self hypo. other hypo.	confirmation confirmation	disconfirmation disconfirmation
	N-Ntest self hypo. other hypo.	disconfirmation disconfirmation	confirmation confirmation
	P-Ntest self hypo. other hypo.	confirmation disconfirmation	disconfirmation confirmation
	N-Ptest self hypo. other hypo.	disconfirmation confirmation	confirmation disconfirmation

図8 複数の仮説に基づく仮説検証による反証パターン

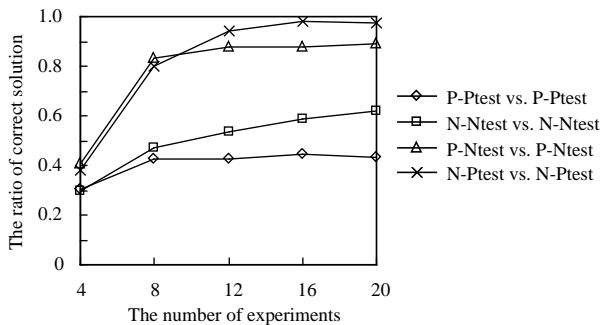


図9 複数の仮説に基づく仮説検証を用いた場合のパフォーマンス

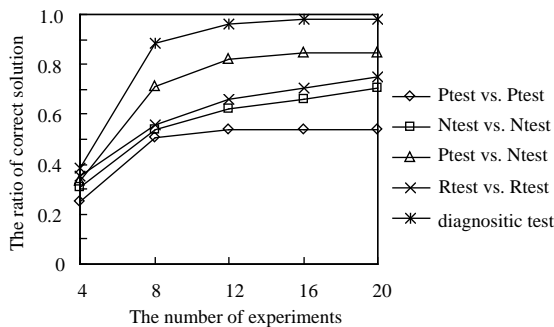


図10 診断テストを用いた場合のパフォーマンス

パフォーマンスをも、大きく上回ることができることがわかる。

## 6. 検 討

ここでのシミュレーション結果は、実際に人間被験者

表3 協調的発見に関する認知心理学的実験の結果

	Gorman (1984)	Laughlin (1985)	Freedman (1992)	Okada (1997)	
グループ人数	4	4	4	2	
単独	-	0.15	0.33	0.08	1.7
独立	-	0.47	0.80	0.28	2.1
協調	実験空間のみ	0.74	-	-	-
	実験+仮説空間	0.79	0.35	0.83	0.67

を用いた認知心理学的実験の結果とどのように整合するのであろうか。

表3は、本研究で取り上げたような仮説検証を伴う発見課題を用いて、個人とグループのパフォーマンスの比較を行った認知心理学的実験の結果を示したものである。ただし、そこで用いられている課題は、それぞれ異なっている。

Freedman (1992) は、本研究と同じく、2-4-6課題を用いているが、Laughlin & Futoran (1985) と Gorman et al. (1984) では New Elusis というトランプカードを用いた課題を、Okada & Simon (1997) は、分子遺伝学模擬実験室という実験用のマイクロワールドを用いた実験が行われている。

これらの実験では、本研究における創発の定義を用いておらず、単純に個人とグループのパフォーマンスを比較している。そこで、表3では、以下の手続きによって、本研究の独立条件に対応するパフォーマンスを算出している。すなわち、 $m (0 \leq m \leq 1)$  というパフォーマンスを示した個人  $n$  人が、独立して問題を解いた時に、その  $n$  人のうち少なくとも一人が正解に達する期待値は  $1 - (1 - m)^n$  となるので、この期待値を、独立条件のパフォーマンスとする [亀田 97]。

なお、Okada & Simon (1996) では、パフォーマンスは0~4の評価値の平均で与えられているが、上と同様の手続きを用いて、独立条件のパフォーマンスを算出している。さらに、Freedman (1992) では、左側が被験者に一つの仮説を作らせる条件、右側が強制的に複数の仮説を作らせる条件での実験結果である。

表3を見ると、これまでの認知心理学的実験の結果は、創発の可能性に関して一貫した結果を示していない。その原因は、様々な要因が考えられるが、その一つとして、本研究で行ったような、認知空間の共有の程度が統制されていないことが考えられる。これらの実験では、話し合いも含めて互いの相互作用には何ら制約が与えられていない。その意味では、共有される認知空間に差異は存在しないように見える。しかし、実質的な認知空間の共有の程度は、個人の能力や、また課題の特性によって、大きな影響を受けると考えられる。

本論文のシミュレーション結果は、共有される認知空間が厳密に制御された場合に、それぞれの共有の段階における創発の可能性を具体的に示すものである。これら

の結果は、より厳密に統制された心理実験によつて、実証的に確認されるべきであり、そのような心理学的検討は、今後の課題である。しかし、本論文の結果は、あるモデルを仮定した時に、そこから演繹的に予測される結果を示しているという意味で、重要な実証的知見である [三輪 99]。また、そこでの結果は、将来の心理学的実験の新しい実験デザインを導くものとしても重要である。

## 7. ま と め

本論文では、複数のシステムが相互作用する時に現れる利得を「創発」の出現として定義し、その評価値を用いて、共有される認知空間の変動に対する創発の可能性を実験的に検討した。計算機シミュレーションの結果は、次のようにまとめられる。

実験空間だけが共有される状況では、一般に相互作用の利得は得られない。ただし、互いのシステムが異なった方略を用いて、かつ十分な実験が許される場合には、創発の可能性が現れる。

仮説空間が共有される状況では、互いのシステムが Ptest 方略を用いる場合に限り、創発の可能性が現れる。人間には、Ptest を好んで行うというポジティブテストバイアスが存在することが確認されており、本シミュレーション結果は、その意味からも興味深い。

実験空間と仮説空間を統合することが可能になれば、二つのシステムの相互作用は、安定した創発現象を示すようになる。

以上の結果は、二つのシステムが十分な認知空間を共有することが可能ならば、「一緒に行く」ということには、十分な意義が存在することを示している。

ただし、認知空間の共有度合の増大は、創発を導くための必要十分条件ではないことには留意する必要がある。例えば、実験空間と仮説空間が統合される条件にあつたとしても、各々のシステムに、診断テストを行なう知識が存在しなければ、創発は現れない。従つて、認知空間の共有は、創発を導くための必要条件と考えるべきである。認知空間の共有という必要条件が満たされた時に、創発を導くために、そこでどのような知識が必要とされるのかに関する詳細な検討は、今後の重要な課題となる。

## ◇ 参 考 文 献 ◇

- [Freedman 92] Freedman, E. Scientific Induction: Individual versus Group Processes and Multiple Hypotheses. Proceedings of the 14th annual meeting of cognitive science society. Lawrence Erlbaum Associates Ltd. 1992.
- [Gorman 84] Gorman, M., Gorman, M., Latta, M., & Cunningham, G. How disconfirmatory, confirmatory and combined strategies affect group problem solving. British journal of psychology, 75, 65-79. 1984.
- [Gorman 92] Gorman, M. Simulating science: heuristics, mental models, and technoscientific thinking. Indiana university press. 1992.
- [ハイゼンベルグ 74] ハイゼンベルグ, V. K. 部分と全体. みすず書房. 1974.
- [亀田 97] 亀田達也. 合議の知を求めて: グループの意志決定. 共立出版, 1997.
- [Klayman 87] Klayman, J., & Ha, Y.-W. Confirmation, disconfirmation, and information in hypothesis testing. Psychological Review, 94, 211-228. 1987.
- [Klayman 89] Klayman, J., & Ha, Y.-W. Hypothesis testing in rule discovery: strategy, structure, and content. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 15, 317-330. 1989.
- [Klahr 88] Klahr, D., & Dunbar, K. Dual space search during scientific reasoning. Cognitive Science, 12, 1-48. 1988.
- [Laughlin 85] Laughlin, P. R., & Futoran, C. G. Collective induction: Social combination and sequential transition. Journal of personality and social psychology, 48, 608-613. 1985.
- [Miwa 96] Miwa, K. & Okada, T. Effective Heuristics for Hypothesis Testing: An Empirical Discussion using a Computer Simulation Method, Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence, 877-887. 1996.
- [Miwa 99a] Miwa, K. Collaborative Discovery Processes by Interactive Production Systems: Degree of Sharing Cognitive Space and Possibility of Emergence, in Proceedings of 2nd international conference of cognitive science, 343-348. 1999.
- [Miwa 99b] Miwa, K. Collaborative Hypothesis Testing Process by Interacting Production Systems, Proceedings of 2nd international conference of Discovery Science, to appear
- [三輪 99] 三輪, 科学的発見における有効な仮説検証方略 計算機シミュレーションを通しての検討, 岡田, 田村, 戸田山, 三輪編, 科学を考える 人工知能からカルチュラル スタディーズまで 14 の視点, 北大地書房, 96-119, 1999.
- [Newstead 95] Newstead, S., & Evans, J. (Eds.). Perspectives on Thinking and Reasoning. UK: Lawrence Erlbaum Associates Ltd. 1995.
- [Okada 97] Okada, T., & Simon, H. Collaborative discovery in a scientific Domain. Cognitive Science, 21, 109-146. 1997.
- [Popper 59] Popper, K. The logic of scientific discovery. Harper & Row. 1959.
- [Platt 64] Platt, J. R. Strong inference. Science. 146. 347-353. 1964.
- [Simon 96] Simon, H. A. Models of my life. MIT Press. 1996.
- [Wason 60] Wason, P. On the failure to eliminate hypotheses in a conceptual task. Quarterly journal of experimental psychology, 12, 129-140. 1960.
- [ワトソン 86] ワトソン, J. D. 二重らせん. 講談社文庫. 1986.

〔担当委員: x x 〕

19YY 年 MM 月 DD 日 受理

## 著 者 紹 介

三輪 和久 (member)

miwa@cog.human.nagoya-u.ac.jp

1984 年名古屋大学工学部卒業・1989 年同大学院工学研究科博士課程修了 (情報工学専攻)・工学博士・名古屋大学情報処理教育センターを経て、1993 年より名古屋大学大学院人間情報学研究所認知情報論講座助教授・1991 年～1992 年米国 Carnegie Mellon University, Dept. of Psychology, visiting assistant professor・認知科学, 人工知能, 教育工学の研究に従事・とりわけ問題解決, 理解, 発見といった人間の高次思考過程に興味がある。