

算数・数学能力の生得的・遺伝的な基礎と教育

糸井 尚子

教育心理学*

(2007年9月28日受理)

1. はじめに

算数・数学能力の発達と教育については多くの研究がなされてきた。実践的な教育心理学的な研究も多く行われており、また数概念の発達についての研究も認知発達研究の中で主要な課題としてとりあげられてきた。

近年、数的な能力については、生得的な基礎についての研究が進み、行動遺伝学では、算数の学業成績には共有環境要因の影響が大きいことが明らかにされてきた。

一方、生得的基礎と教育の間にどのような関係があるのか、遺伝要因と環境要因がどのように教育に対して影響をおよぼすのかについては議論が多いとはいえない。これらを検討することにより、算数・数学教科の心理学においてどのような研究が必要であるかについて示唆が得られるのではないだろうか。算数・数学能力を発揮するために、どのような働きかけが有効なのかについて考えたい。

生得性や遺伝・環境要因の研究は教育の重要さと拮抗するものであろうか。どのような生得的な情報が用意されているのかを知ることにより、教育の方法を検討することができるであろう。また、特性の遺伝・環境要因の影響を仮定することにより、理解のプロセスに複数の経路が仮定されることがあるかもしれない。

本稿では、算数・数学の能力にどのような生得的な基礎があると考えられるかを概観し、個人差の遺伝のメカニズム、知能や各認知能力、学力の遺伝率がどのように見積もられているか、また、算数に関与すると考えられるさまざまな特性の遺伝・環境要因の解析が進んでいることを検討する。また、計算・図形・文章題などの課題において、さまざまな能力がいかに関与しているかを考察する。さらに算数・数学の教育・援助

の方法の研究について概観する。

算数・数学の問題解決には生得的な能力や獲得されたさまざまな認知的な能力が使われており、それぞれの問題解決場面でどのような能力が使われているかを解明することにより、教育方法に大きな示唆が得られるのではないだろうか。

問題は大きく2つあると考えられる。ひとつは、算数・数学の能力は生得的であると考えられるが、より複雑な算数の能力に発達していく過程においてどのような学習が生じているのかということについてである。

もうひとつは、算数・数学の達成には、知能が関与していると考えられるが、知能には、遺伝要因が大きく、算数の達成には、共有環境要因が大きく働く。このずれは何によってもたらされているのかという問題である。

したがって、ここでは算数の生得的な能力についての研究を検討し、それがどのように形成されていくかについての研究を概観する。また、行動遺伝学的な研究から算数・数学の達成に関連すると考えられる知能やその下位能力そして算数・数学の達成に遺伝・環境的要因についての知見を検討し、算数・数学の達成にどのような能力が関与しているのかについて整理し検討を行う。

2. 算数能力の生得性

乳児は数概念に対してどのような生得的な能力を持っているであろうか。乳児の認知能力についてのさまざまな研究が行われてきた。その結果、乳児期においてもかなり顕著な数的能力を発揮することが明らかとなってきた。

乳児に足し算・引き算の能力があることを、Wynn

* 東京学芸大学 (184-8501 小金井市貫井北町 4-1-1)

(1992) は実験的に明らかにした。5ヶ月児についたての陰に人形が入り出すところを見せて、ケースの中に人形一つが置かれ、ついたてが出てきてさらに人形が横から入れられる。ついたてがとられて、人形が2つある、あるいは1つしかないという事態が起きる。そこで注視時間が比較され、人形が1つ現れるありえない事態で有意に長い注視時間が得られた。同様に(2-1)の引き算の事態でもありえない数のときに有意に長い注視時間が得られた。

Cooper (1984) は2列の四角形の列をみて、同数のときは馴化するが、数が異なる場合は馴化が起きないことを見出している。

また、Wynnの実験に対して、ただ、視覚的な同一性に基いた反応ではないことがSimon, Hespos, & Rochat (1995) によって示された。Wynnの実験では、同じ人形が用いられたが、Simonらは、セサミストリートの2種の異なる人形を使用して、乳児が人形の同一性に反応しているのではなく、人形が異なっても数の変化に対して反応していることが明らかにされた。

しかし、乳児がモダリティを超えて数の大きさの判断ができるかどうかについては、一貫した結果が得られていない。Sterkey, Spelke, & Gelman (1983) は、たいこの音が2連打か3連打かで乳児が2つのものが乗っている列と3つのものが乗っている列のどちらを注視するかを調べ、音の数と視覚的に提示されたものの数の一致したほうを注視することを見出したが、Moore, Benenson, Resnick, Peterson, & Kagan (1987) では、一致した結果が得られなかった。

認知的な負荷がかかり過ぎない事態であれば、乳児期にすでに生得的な計算の能力が出現することがあきらかになってきたといえるであろう。ただし、乳児の注視時間を計測する実験では、追試が難しいことが多い。Wynn (1992) の実験に対しても、議論は続いている。

幼児期にはどうであろうか。幼児に対して、数におけるはあるかどうかと問うと、「100まで数えると100とつきまでである。」など多くの子どもが序数のしくみを言語化しうることが明らかになった(糸井, 1989a,b)。この序数のしくみの理解が足し算・引き算の土台となっていると考えられる。

また、割り算を教えられる前に子どもたちがどのように捉えられるのかについても調べられている。Sophian (2000) は、4~5才の子どもが空間的な比率を判断できることを示し、Singer-Freeman & Goswami (2001) は、一つ丸ごとのピザから半分を取り除いたとき、チョコレート一箱で同じことをするとどうなるかというアナロジー課題で3~4才児が、これを理解することを示した。

幼児期にすでに比の理解ができることが示されている。

3. 文化的影響

乳児・幼児期の研究で明らかになったように、生得的に足し算、引き算などを可能にするメカニズムは備えていても、計算を行うための手続き的な知識は獲得されなければならない。

Geary (1995) は *biologically primary mathematical abilities* と *secondary mathematical abilities* という2つの概念を提案している。前者は計数と3~4以内の集合の足し算・引き算であり、どの文化においても乳児期に見られる能力をさす。後者は、発達的に続いて生じる文化に固有な数唱や計数のシステムとより大きな数での複雑な計算の形式を含む能力をさす。

より複雑な計算の習得にあたっては文化差などが仮定されるが、文化差については、特に欧米とアジアの間で多くの比較研究が行われてきた。これらの比較研究においてアジア系の子どもたちの成績が他に比べて高いことが指摘されてきた。これらは、社会文化的な要因の問題として研究されてきた。学校での教授法、親の教育的援助の違いや教育への社会的な重要度の違いなどが要因となっていると考えられてきた(Perry, Vander-Stoep, & Yu, 1993; Song & Ginsburg, 1987, Stevenson et al., 1986, 1990; Stevenson & Stigler, 1992; Stigler et al., 1982; Stigler & Perry, 1988; Geary 1996)。また、日本や中国などでは、数詞が10に基づく構造をしているのに比べ、英語圏では数詞に12進法が混入していることが成績の差をもたらす原因として考えられてきた。これにより、入学時点ですでに中国系の子どもが計算において10を基にした分解・合成の方法を用いるのに対して、米国の子どもがより洗練されていない方法を使いがちであることがみいだされている(Geary, 1996)。

日本の小学校の低学年における足し算・引き算の研究では、数え上げよりも5と10のまとまりを利用するという数学教育協議会の教授法に起源を持つ方法を使用していること(Hatano, 1982)、発達的には10よりも先行して5をまとまりとして利用すること(吉田・栗山, 1995, 栗山・吉田, 1988)などが解明されてきた。

日本の小学生の数的能力は、数詞の構造のみならず、学校教育の影響が大きいこと(Naito, & Miura 2001)などが検討されている。また、日本人の小学校1年生の足し算の解決方法について1年間の発達の変化を検討し、次第に10を基にした分解・合成の方法を用いるようになることが示されている。(Murata, 2004)。

数詞の構造といった文化のシステムや意図的な教育

方法が数的能力の発達に影響を与えていることが示されていると考えられる。

吉田(2003)によれば、足し算や引き算を小学校1年生に教えるのはたやすいが、小学校4～5年生でも足し算や引き算ができない子どもたちが少なくないという。2年生で繰り返り下がりのある引き算ができない子どもがクラスの6割になるという。ドリルを繰り返して行っても手続きに誤りがあれば、何年もそのままになってしまうこともある。しかし、おとなが子どもの誤答を理解できないわけではない。子どもの引き算の誤答がなぜ生じたかを理解する能力があることが分かった(大久保・糸井, 2000)。間に合わせでとられる方略は、おとなも思いつくような方略であり、注意深く誤った方略を見つけて指導することが可能であると考えられる。

割り算、分数など分かりにくいとされることからについても、どのような基礎的な能力が仮定されるのか、その土台の上にかに技能の獲得が生じるのかについての分析が必要であろう。一般的には割り算は引き算の繰り返しとして教えられる(吉田, 2003)。それにもかかわらず分数は難しいとされるが、手続きの獲得のどんな側面が困難であるかについてさらに検討が必要であろう。

以上のように、発達の初期から生得的な数的能力の発現が認められ、文化的な影響、あるいは学校教育の影響を受けて次第に複雑な算数能力が発達してくる様相についての研究が行われてきた。

4. 算数・数学についての行動遺伝学的研究

また、個人差に遺伝・環境的要因がどのように影響するかという側面についての研究もなされてきた。近年の行動遺伝学の展開により、学力についてもさまざまな研究がなされてきた。算数・数学の学力については、その遺伝的、環境的要因はどのような比率となっているであろうか。

学業成績では共有環境要因の影響が最も大きく、小学校においては60%を占めることがあきらかになっている。小学生では、算数・数学の遺伝率についてはおよそ、20%と見積もられ、読解、言語では30%くらいとなっている(Thompson, Detterman, & Plomin 1991)。中学・高校では遺伝的な影響がより高くなるとされている。

日本における研究では、遺伝的影響が教科によって異なることが示された。特に算数における遺伝的影響は非常に低く、村石らの研究(1998)ではほぼ0であることが示された。これは、欧米の研究の結果とはかなり異なっているといえるだろう。日本で以前に行われた研究でも算数は遺伝的影響が低くなっている(副島,

1972)。

欧米での研究と日本での研究で算数の遺伝的影響の見積もりに差が出るのかは今のところ明らかではない。日本での研究が、欧米での研究に比して非常に少ないことも関係しているかもしれない。日本で算数の特に小学校段階では遺伝的影響が低く、共有環境要因が大きいのは、欧米で子どもの小さいときから宿題を本人に任せるのに比べて、日本で親が宿題などに積極的に関与するためであるかもしれない。また、東洋人においては算数の学力の性差が、コーゲジャンとは異なることも報告されている(Lubinnski & Benbow, 1992)。遺伝的な能力の分散のあり方が異なっている可能性もありえるであろう。

学業成績は、知能および知能を構成する認知能力と関係があると考えられるが、行動遺伝学的な解析においてはかなり異なった様相を示している。知能には大きな遺伝的な要因が関与していると考えられている(Bouchard & McGue, 1981, Boomsma, 1993; McCartney, Harris, & Bernieri, 1990; McGue, Bouchard, Iacono, & Lykken, 1993; Plomin, 1986; Plomin, Fulker, Corley, & DeFries, 1997)。また、知能の遺伝率は年齢上昇とともに上昇することが知られている。このことから、経験が年齢とともに増加し環境要因が次第に重みを持つてくると簡単にいえないことが分かり、遺伝的要因の働き方、環境要因を人がどのように取りこんでいるかといったことについても推論を行う余地が生じてくる。

一方、個々の問題解決の認知技能については非共有環境要因の影響が大きいとされている(Price, Eley, Stevensen, & Plomin, 2000)。つまり、一般的な知能は遺伝的な要因の影響が大きいと考えられているが、それぞれの問題を解決する能力は教育により獲得されると考えられるのである。そして、学業成績においては、共有環境要因、つまり、一緒に家庭で育てられたことの影響が最も大きいとされているのである。

日本での知能の遺伝率の見積もりを行った研究は多くないが、東大付属の双生児を対象とした研究において、知能の遺伝率は20%くらいとなっている(豊田他, 2004)。これは、欧米の研究より低い値である。しかし、この値は同じ調査対象に基づく学力検査での遺伝率よりは高い。

このような、知能と学業成績の遺伝率の相違はなぜ生じるのかについても検討されている。学業成績(attainment)が文字どおり、達成されたものであるのに対し、知能は能力であり計測している面が異なるからだとされている。学業成績は、学習により生じるものであるから、環境要因が大きいのは当然とも考えられている

のである。

一方、学業成績と知能の間で、関与している遺伝子が異なるのではないかという考えもある。算数・数学の学力に固有に働く遺伝子があるのではないかということについても研究が始まっている。言語の発達の遅れなどに対しては、すでに関係する遺伝子が特定されてきている。算数については、アメリカの学力テストSATの高得点者に対して、家族的な共通の特徴があるのかどうかについて研究が行われ、算数・数学能力に特異に働く遺伝子がある可能性が示唆されている (Wijmsman, Robinson, Kathryn, Ainsworth, Rosenthal, Holzman, & Raskind 2004)。

しかし、このような遺伝子は、ポリジーンシステムの中に仮定されるものである。一つの特性の発現に多くの遺伝子と環境要因が働くと仮定されるポリジーンシステムにおいて、仮に一つの遺伝子がある能力の発現に関与することが分かっても、その遺伝子を個人が持っているかどうかは仮に分かったとしても、そのことからすぐに個人の能力の高さを知ることはできないと考えられている (Plomin, 1999)。

算数・数学には遺伝的な要因が何らかの形で関与しているかもしれないが、学業成績には共有環境要因の働きが小学校時点をピークとして他の要因に比して一番高いことが、示されてきた。

また、算数・数学の学業成績と学業成績の背景にあると考えられる知能やその下位の認知能力とは、遺伝要因・環境要因の比率がかなり異なっており、遺伝的な要因が比較的大きい知能が、環境要因の比重が高い学業成績にいかに関与していくのかも今後の検討課題であろう。

5. 生得的・遺伝的基礎から手続きの獲得へ

ヒトとして齊一に持っている能力と定義される生得的な能力は、乳児期の計算能力の研究に見られるように、発達の非常に早期から見出せることが分かってきた。一方、特性の個人差についてそれを遺伝的要因、環境要因それぞれの働き方について相対的な割合の見積もりが行われてきたが、その結果、算数の学業成績には、特に小学生時点では、共有環境要因が最も大きいことが明らかになってきた。

個々の認知課題では非共有環境要因の影響が最も大きく、個々の課題においてどのような能力が使用されているのか、さらなる吟味が課題となってきた。また、そのことからどのような指導がそれぞれの課題に対して有効であるのかについての検討も必要であると考えられる。

安藤 (1992) は、遺伝的な個人差に対応した教授法の研究・開発の可能性について論じている。安藤 (1996) は英語の教授・学習場面において遺伝と環境の交互作用について検証している。先ほど見たように、個人の遺伝的な情報から、そのまま個人差を知ることはできないが、個人の能力の特性に注目した理解のプロセスの研究、教授法の検討が必要であると考えられる。

行動遺伝学は、遺伝率の算出といったマクロな視点と遺伝子の特定というミクロな視点から研究が行われている。そのため、そこから直接算数・数学の教育に具体的な知見を得ようとするのは容易ではない。しかし、個人差の解析に重点を置くという方法から示唆されるものは大きいのではないだろうか。

まず、算数・数学の個々の問題解決にどのような認知能力が関与しているだろうか。また、個々の認知能力は相補的に働き、一つの特性を補う形でほかの特性が発揮されるということはないのだろうか。

6. 計算にかかわる能力

算数の達成において、それぞれの問題解決場面でのような認知能力が関係しているかについては脳に関する研究などからの知見も得られるようになって来た。

Siegler (2001) は、症例KFKの事例を報告している。KFKは、優秀な社会人として活躍していた女性であるが、自室の暖房等の不完全燃焼に長期間さらされることにより、脳に酸素が不足する状態が続くことにより、著しい知的能力の低下に見舞われ、その後の回復過程が報告されている。有能に経済の仕事で活躍していたが、急激な知的な能力の低下の後、IQは100くらいまで回復するが、数能力において顕著な問題を生じることとなる。数の大小が分からないという状態が続き、文章を読んだりする力はかなり回復し、自分で新聞を読みSieglerを訪ねるほどになるのであるが、簡単な数の大小の比較ができないのである。脳と数能力の関係に大きな示唆を得る症例である。

数の大小に関係する脳の働きについて何か固有な脳の機能があるのかもしれないことが示唆される。また、数の基数的な側面と序数的な側面の発達にはどちらが先行するのかといった議論が以前からなされてきたが、2つの側面が発達的にどう関係するのかにこれらの症例などから示唆されることも大きいと考えられる。

脳の働きについては近年のfMRI (磁気共鳴画像法) による研究により、大きな進展が見られた (松尾, 2004)。

ドリルを行うとき、脳のどの部位が活性化しているか

といったことが分かるようになって来た（川島，2002）。複雑な文章題を解く際に活動が活発である領域はそれほど広くなかった。むしろ，単純な筆算による足し算などが多くの脳の部位を使っていることなどが明らかになっている。つまり，単純な計算問題も繰り返しでは，見るための視覚野，答えを書くための運動野など，多くの領域が関与していることが明らかになった。簡単なドリルを解くときにさまざまな能力に支えられていることが明らかになったといえよう。

7. 図形の問題

図形（幾何）の問題についても教授法の研究などが行われている（Lim & Moore, 2002）。数学的な問題解決においては，表象の変換能力がかかわるとされている（Gagatsis & Shiakalli, 2004）。洞察的な問題解決として，場の変換過程を含む，再体制化のプロセスとして検討されてきた。図形問題にはこのような再体制化は必要なプロセスであろうが，それはいかに教育的に援助されると考えられるのだろうか。Lim & Moore（2002）は目標志向的でなく，探索活動を含む目標志向的でない指示が有効であることを見出している。

一方，空間的な認知よりも言語的な認知を得意とする人は，空間的な課題を言語的に置き換えて解決する傾向があることが知られている。地図を見て目的地に到達する課題において，空間能力より，言語能力が優れた対象者は言語能力に依存して問題解決が図られることが示唆された（Garden & Cornoldi, 2002）。

図形を不得意と感ずることが，算数・数学の適性がすぐれないと見られることもあると考えられるが，空間的な課題を言語的に解決可能であることが分かれば課題解決に対する構えも異なってくるかもしれない。

図形の求積問題において，さまざまな求積の課題を小学6年生と中学2年生に提示したところ，直行する2つの線分の長さを検出するという平面図形の求積にとってより一般性の高いストラテジーへと知識が再体制化されていると考えられた（糸井・山崎・高木，1999）。つまり，図形の求積においてストラテジーの記憶の体系はむしろ言語による体系化によるかもしれないということが示唆されたと考えられる。

グリーン（1985）によれば，知識が図形の問題で主要な問題となっていることが明らかである。知覚的な分かりやすさからの導入も必要であるが，より一般性の高いストラテジーへの移行を意識しながら，つまり，知識の体系化を目指した指導をすることが重要であると考えられる。いかに面積を求めるかは，図形の問題であって

も言語的なストラテジー理解が支えているといえよう。

8. 文章題と線分図

また，文章題を線分図を使用して理解を促進しようとする試みも，さまざまな能力を使って課題解決に結びつけようとする試みであると見ることもできよう。

文章題の解決過程では，4つの認知過程が考えられている。文を表象に変える変換過程，問題全体の表象を繰り返す統合過程，解決プランを立てるプラン過程，そして実行過程である（Mayer, Tajika, & Stanley, 1991）。文章題においては，線分図などを利用することで理解を促進しようとする試みがなされてきた。しかし，線分図を与えてもむしろ後の課題解決に干渉効果をもたらすことさえありうることが示されている（多鹿，1998）。

坂本（1995）は，分数の文章題の解決において，数的知能，言語的知能，既有知識，計算力との関係を分析したが，解答には数的知能，言語的知能，計算力のそれぞれが寄与し，線分図作成には，言語的知能，計算力，既有知識が関与することが明らかになった。

このように算数・数学の問題解決にはさまざまな知能の側面が関与していることが分かる。

知能の各下位能力のバランスによっては，線分図作成が解答より困難になる状況がありうるのではないだろうか。

問題文の数量関係をとらえることと，それを線分図で表現することは同じことではないかもしれない。線分図には線分図の文法があり，それに従った表現が求められる。このことは線分図作成に言語能力の寄与を大きくする可能性があるのではないだろうか。線分図を見てもそれをあたかも地図のように解読する必要があるのかもしれない。線分図を使った文章題の理解の過程において，さまざまな過程を想定する必要があるかもしれない。また，授業においても，線分図を理解しにくい子どもに対して，理解過程，あるいは理解の方略の個人差について配慮をおいた指導法の検討が必要であろう。

9. 社会的な知能と算数・数学の問題解決

算数・数学もコミュニケーションの中で獲得される。数助詞の獲得の研究ではNaka（1999）は数助詞の獲得において養育者の語りかけは発達的にその子どもの少し上に獲得されることを語りかけていることを示した。藤村・太田（2002）は子どもどうしのコミュニケーションの中で「単位量当たりの大きさ」について問題解決方略がどのように変化するかについて研究している。ま

た、権・藤村(2004)は、方略の学習に関する児童の共同の効果を検討している。Fuches, Fuches, Yazdian, & Powell (2002)は、算数学習での子供どうしの援助についての効果を検証している。

これらは、発達の最近接領域の問題であると同時に、子どもの社会的知能によって学習が進められていることの研究でもある。算数・数学の学習においても社会的な知能の発揮は重要な要因であろう。

これまでに見てきたように、算数・数学の問題解決に当たってはさまざまな能力が縦横に使われていることが分かる。時には能力のアンバランスの中で他の能力を補償するように能力が使われることもある。

このことが、知能の個人差が算数・数学の学業成績を直接的には説明しないことにもつながっていないことの一因となっていることも考えられるであろう。

教育場面においては、さまざまな能力が相補的にも使われることはどのようにとらえられるであろうか。算数・数学の問題解決には、能力の使い方が一様でないことも考えられる。そのことを想定した授業の組み立てを考えることも必要になるであろう。

10. まとめ

生得性や遺伝・環境要因の研究は教育の重要さと拮抗するものではないと考えられる。どのような生得的な情報が用意されているのかを知ることにより、教育の方法を検討することができるであろう。また、特性の遺伝・環境要因の影響を仮定することにより、個人差のバラエティーに配慮した教育プログラムが準備されることが期待される。

算数・数学の能力に生得的な基礎があると考えられること、遺伝率の見積もりなどが行われ、算数に関与すると考えられるさまざまな特性の遺伝・環境要因の解析が進んでいることを概観し、計算・図形・文章題などさまざまな課題において、どのような能力が関与し、どのような教育・援助が可能であるかについての研究が行われていることをみてきた。

算数・数学の問題解決には生得的な能力や獲得されたさまざまな認知的な技能が使われており、それぞれの問題決場面でのどのような能力や技能が使われているかを解明することにより、教育方法に大きな示唆が得られると考えられる。

引用文献

- 安藤寿康 1992 人間行動遺伝学と教育 教育心理学研究 40, 96 - 120.
- 安藤寿康 1996 遺伝要因が教授・学習過程に及ぼす諸効果 - 双生児統制法による英語教授法比較研究 - 教育心理学研究, 1996, 44, 223 - 233.
- Boomsma, D.I. 1993 Current status and future prospects in twin studies of the development of cognitive abilities: Infancy to old age.
- Bouchard, T.J., Jr., McGue, M. 1981, Familial studies of intelligence: A review. *Science*, 212, 1055 - 1059.
- Cooper, R.G. 1984 Early number space with addition and subtraction. In Sophian, C. (Ed.), *The origin of cognitive skills*. 157 - 192. LEA.
- Fuches, L. S., Fuches, D., Yazdian, L., & Powell, S.R. 2002 Enhancing first-grade children's mathematical development with peer-assisted learning strategies. *School Psychology Review*. 31 (4) , 2002, 569 - 583.
- 藤村宣之・太田慶司 2002 算数授業は児童の方略をどのように変化させるか - 数学的概念に関する方略変化のプロセス - 『教育心理学研究』第50巻 第1号 33 - 42
- Gagatsis, A., & Shiakalli, M. 2004 Ability to translate from one representation of the Concept of function to another and mathematical problem solving ,*Educational Psychology* 2004, vol. 24, no. 5, 645 - 657 (13)
- Garden. S & Cornoldi, C. 2002 Visuo-spatial working memory in navigation. *Applied Cognitive Psychology* 16, 35 - 50.
- Geary, D. C. 1995. Reflections of evolution and culture in children's cognition. *American Psychologist*, 50, 24 - 37.
- Geary, D. C. 1996. International differences in mathematical achievement: Their nature, causes, and consequences. *Psychological Science*, 5, 133 - 137.
- 権 裕善・藤村宣之 2004 同年齢児童の共同はいつ有効であるのか - 比例的推理の方略レベルが異なるペアの相互作用 - 教育心理学研究, 2004, 52, 148 - 158
- グリーン. J.G 山口修平, 東洋共訳 1985 問題解決の過程: 幾何の課題による研究 ライブラリ教育方法の心理学 サイエンス社.
- Hatano, G. 1982 Learning to add and subtract: A Japanese perspective. In Carpenter, T. P., Moser, J.M., & Romberg, T.A. (Eds.) *Addition and subtraction: a cognitive perspective*. 211 - 223. Hillsdale, , NJ: LEA
- 糸井尚子・大久保かおる 2000 引き算における小学生の誤答と大学生のバグ検出能力 東京学芸大学紀要 51, 111 - 121.
- 糸井尚子 1989a 幼児の無限概念 児童研究 68, 10 - 21.
- 糸井尚子 1989b 幼児における数の無限の理解 東京学芸大学紀要 40, 67 - 75.
- 糸井尚子・山崎博・高木智 1999 平面図形の求積についての理解の構造 東京学芸大学紀要 50, 29 - 39.
- 川島隆太 2002 読み・書き・計算が子どもの脳を育てる。子どもの未来社
- 栗山和広・吉田甫 1988 幼児の数表象の構造 - 数唱分析からの検討 - 心理学研究 59, 5, 287 - 294
- Lim E.L., & Moore D.W. 2002 Problem Solving in Geometry:

- Comparing the effects of non-goal specific instruction and conventional worked examples. *22*, 5, 591 – 612.
- Lubinnski, D. and Benbow, C. 1992 Gender differences in abilities and performances among the gifted: Implications for the math-science pipeline. *Current Directions of Psychological Science*, 1, 61 – 66.
- 松尾香弥子 2004 空書の脳内メカニズム 風間書房
- McCartney, K., Harris, M.J., & Bernieri, F. 1990 Growing up and growing apart: A developmental meta-analysis of twin studies. *Psychological Bulletin*, 107, 226 – 237.1990
- McGue, M., Bouchard, T.J., Jr., Iacono, W. G., & Lykken, D.T. 1993 Behavioral genetics of cognitive ability: A life-span perspective. In R. Plomin & G.E. McClearn (Eds.), *Nature, nurture, and psychology* (pp.59 – 76). Washington, Dc: American Psychological Association.
- Mayer, R.E., Tajika, H. & Stanley, C. 1991 Mathematical problem solving in Japan and the United States: A Controlled Comparison. *Journal of Educational Psychology*, 83, 69 – 72.
- Moore, D., Benenson, J., Resnick, S.J., Peterson, M., & Kagan, J. 1987 Effect of auditory numerical information infant's looking behavior: Contradictory evidence. *Developmental Psychology*, 23, 665 – 670
- 村石幸正・豊田秀樹 1998 古典的テスト理論と遺伝因子分析モデルによる標準学力検査の分析 教育心理学研究 46, (4), 395 – 402.
- Murata 2004 Path to learning ten structured understandings to teen sums: addition solution methods of Japanese grade 1 students. *Cognition and instruction*, 2004, 22 (2), 185 – 218.
- Naito, M. & Miura, H. 2001 Japanese children's numerical competence: age- and school-related influences on the development of number concepts and addition skills *Developmental Psychology*, 37, 217 – 230
- Naka, M. 1999 The acquisition of Japanese numerical classifiers by two-to-four-year children: The role of caretakers' linguistic inputs. *Japanese Psychological Research*, 41, 11 – 28.
- Perry, M., Vander Stoep, S.W., & Yu, S.L. 1993. Asking questions in first-grade mathematics classes: Potential influences on mathematical thought. *Journal of Educational Psychology*, 85, 31-40.
- Plomin, R. 1986 *Development, genetics, and psychology*. Hillsdale, N.J: Erlbaum.
- Plomin, R. 1999 Genetics and general cognitive ability. *Nature*, 402, c25 – c27.
- Plomin R., Fulker, D.W., Corley, R., & DeFries, J.C. 1997 Nature, nurture and cognitive development from 1 to 16 years: A parent-offspring adoption study. *Psychological Science*, 8, 442 – 447.
- Price, T.S., Eley, T.C., Stevenson, J., and Plomin, R. 2000 Genetic and environmental covariation between verbal and non-verbal cognitive development in infancy. *Child Development*, 71, 948 – 959.
- 坂本美紀 1995 分数の文章題解決に関連する個人差要因の検討 教育心理学研究 43, 2, 167 – 176
- Siegler, R. S. Children's discoveries and Brain-Damaged Patients' Rediscoveries. 2001 In *Mechanisms of cognitive development*. McClelland, J. L & Sigler, R. S. LEA.
- Simon, T.J., Hespos, S. J., & Rochat. P. 1995 Do infants understand simple arithmetic? A replication of Wynn (1992). *Cognitive Development*, 10, 253 – 269.
- Singer-Freeman, K. E. & Goswami, U (2001) Dose half a pizza equal a box of chocolates? Proportional matching in analogy task. *Cognitive Development*, 16, 3, 811 – 829.
- 副島羊吉郎 1972 学業成績における遺伝の影響－双生児法による－ 心理学研究 43, 68 – 75.
- Sophian, G. 2000 Perception of proportionality in young children: matching spatial ratios, *Cognition*, 75, 2, 145 – 170
- Song, M.-J., & Ginsburg, H. P. 1987. The development of informal and formal mathematical thinking in Korean and U.S. children. *Child Development*, 58, 1286 – 1296.
- Sterkey, P., Spelke, E.S. & Gelman, R. 1983 Detection of intermodel numerical correspondences by human infants. *Science*, 222, 179 – 181.
- Stevenson, H. W., Lee, S., & Stigler, J. W. 1986 Mathematics achievement of Chinese, Japanese, and American children. *Science*, 231, 693 – 699.
- Stevenson, H. W., Lee, S., Chen, C., Lummis, M., Stigler, J., Fan, L., & Ge, F. 1990. Mathematics achievement of children in China and the United States. *Child Development*, 61, 1053 – 1066.
- Stevenson, H. W., & Stigler, J. 1992. The learning gap: Why our schools are failing and what we can learn from Japanese and Chinese education. New York: Summit.
- Stigler, J. W., Lee, S., Lucker, G. W., & Stevenson, H. W. 1982. Curriculum and achievement in mathematics: A study of elementary school children in Japan, Taiwan, and the United States. *Journal of Educational Psychology*, 74, 3 15 – 322.
- Stigler, J. W., & Perry, M. 1988. Mathematics learning in Japanese, Chinese, and American classrooms. In G. B. Saxe & H. Gearhart (Eds.), *Children's mathematics*. pp. 27 – 54. San Francisco: Jossey – Bass.
- 多鹿秀継 1998 算数問題解決過程の分析と解決方略の支援に関する実証的研究 研究成果報告書
- Thompson, L.A., Detterman, D.K., & Plomin, R. 1991 Association between cognitive abilities and scholastic achievement: Genetic overlap and environmental differences. *Psychological Science*, 2, 158 – 165.
- 豊田秀樹・中村健太郎・村石幸正 2004 縦断的な知能検査データの行動遺伝分析 教育心理学研究 52, 392 – 401.
- Wijsman, E. M., Robinson, N.M., Kathryn H. Ainsworth, K. H., Rosenthal E. A. Holzman, T., & H. Raskind, W. 2004 Familial Aggregation Patterns in Mathematical Ability. *Behavior Genetics* 34 (1) : 51 – 62.
- Wynn, K. 1992 Addition and subtraction by human infants. *Nature*, 358, 749-750.
- 吉田甫 2003 学力低下をどう克服するか－子どもの目線から考える 新曜社
- 吉田甫・栗山和広 1995 心的加算における数の表象構造について 教育心理学研究 43, 402 – 410.

Innate foundation and heredity of mathematical ability and mathematical education

Hisako ITOI

Department of Educational Psychology

Abstract

Many studies have revealed that even newborn baby can add or submit. Mathematical education is assumed the basis of our innate foundation of mathematical ability.

The behavioral genetical researches proved that the common environment has influenced the mathematical attainments. That means the education until adolescence is very important comparatively to the individual biological differences.

In each field of mathematical education, such as calculations, word problems, and geometry, relations between the developmental early abilities and instructions are discussed.

* Tokyo Gakugei University (4-1-1 Nukui-kita-machi, Koganei-shi, Tokyo, 184-8501, Japan)