

Title	乳児における重力法則理解の発達
Sub Title	
Author	旦, 直子(Dan, Naoko)
Publisher	慶應義塾大学大学院社会学研究科
Publication year	2003
Jtitle	慶應義塾大学大学院社会学研究科紀要：社会学心理学教育学：人間と社会の探究 (Studies in sociology, psychology and education : inquiries into humans and societies). No.56 (2003.) ,p.145- 152
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	学事報告
Genre	
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN0006957X-00000056-0145

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

博士（平成14年度）
 博士（心理学）〔平成14年10月16日〕
 甲 第2060号 旦 直子

乳児における重力法則理解の発達

〔論文審査担当者〕

主査 慶應義塾大学文学部教授

文学博士

渡辺 茂

副査 放送大学教養学部教授

教育学博士

波多野誼余夫

副査 東京大学大学院総合文化研究科

広域科学専攻広域システム科学系助教授

工学博士

開 一夫

内容の要旨

近年、乳児の認知研究が盛んに行われている。そして乳児が物理的世界をどのように捉えているかに関してもいくつもの研究があり、乳児の認知世界を明らかにするための数多くの証拠が出されてきた。そこでは様々な物理知識が扱われてきたが、1種類の物理法則について様々な現象を用いて統合的に捉えようとする試みは多くない。重力知識に関係する個々の現象について取り上げられることはあっても、関連する様々な現象を取り上げ体系的にその知識の発達を見た研究はない。重力法則知識は獲得時期に個人差が大きく年齢以外の要因による説明が期待できること、関わりのある現象が多岐に渡ることなどの理由から、その理解の発達を詳しく検討することは人の知識構造を考える上で有益だと考えられる。本論文ではまず、乳児研究の意義、方法論、視点についてまとめ、乳児の重力知識とそれを取り巻く様々な事柄についての知見を紹介する。それらを踏まえ、(1) 生後1年間の重力法則理解の発達の検討、(2) 乳児から幼児、大人への理解の連続性の検討の2つのアプローチに従って実験を行い、考察を加えた。

第1のアプローチ——乳児の認知世界での重力法則理解

第1のアプローチでは、支え関係理解の洗練、支え関係理解を制御する環境変数、支え関係理解の発達と身体能力の関連、重力法則理解における乳児の知識の構造、という4つのラインで実験を行い、それぞれ以下のような知見を得た。

支え関係理解の洗練（実験1）

目的と方法 実験1では、重力法則のうち、支え関係理解を取り上げ、その発達的变化を月齢を追って検討した。4～12ヶ月の乳児に、安定事象（上の箱が幅の広い下の箱にのっており安定した事象）、不安定事象（上の箱が幅の狭い下の箱の上ののっており不安定な事象）、不可能事象（上の箱の重心が下の箱の上ののっていないのに落ちない不可能な事象）の3つの事象を提示し、各事象に対する乳児の注視時間を測定した。

結果と考察 およそ6.5ヶ月で不可能事象を安定事象よりも長く注視するようになり、10ヶ月で不安定事象を安定事象よりも長く注視するようになった。このことから、支え関係において、6.5ヶ月で重心の外れた支え関係であると上の物は落下することを理解するようになることが示され、先行研究の結果と一致した。また10ヶ月で、たとえ重心がずれていなくても支える物の幅が非常に狭ければ上の物は落下しやすいというバランスの概念を理解することが示された。この実験から、支え関係の理解は生後1年の間にだんだんに洗練されていき、大人の判断に近い判断ができるようになる、つまり、現実場面でこれから起こる出来事の予測が的確にできるようになっていくことが示唆された。

支え関係理解を制御する環境変数（実験2）

目的と方法 支え関係理解について、対象間の接触量と重心からのずれの大きさを段階的に変化させた時の注視時間を測定することにより、乳児の注視時間を左右する属性の特定を試みた。被験児は3～13ヶ月児であった。

結果と考察 10ヶ月以上の乳児において落ちるか落ちないかぎりぎりの支え関係を有意に長く見るという結果が得られた。実験前の予想では、重心のずれの大きさか接触量の量が乳児の注視時間を左右する鍵になっていると考えたが、結果はどちらか一方が重要であるというような単純なものではなかった。

支え関係を制御する被験者変数（実験2の再分析）

目的と方法 重力法則理解の発達は、年齢を統一した時の個人差が大きいことが知られている。このことは、乳児の重力法則理解の発達については年齢が最適の説明変数ではないことを示唆している。そこで、実験2のデータについて身体能力を変数として説明を試みた。

結果と考察 身体能力を説明変数として実験2の再分析を行った結果、注視時間の差を説明できる変数として「つかまり立ち」という要因が示された。すなわちつかまり立ちのできる乳児はできない乳児に比べて、落ちるか落ちないかぎりぎりの支え関係事象に注目していた。つかまり立ちをすることとは、初めて自分の足で立つという経験をするが、まだ支えなしにはバランスをとることができず、体のバランス調節を学びつつある時期にある。自分自身の体のバランス調節を学ぶという経験が、落ちるか落ちないかぎりぎりである関係への関心を高める可能性が示唆された。

重力法則違反事象への馴化効果の現象間転移（実験3）

目的と方法 乳児は、重力法則に関する諸現象を関連付けて捉えているのかどうかを、重力法則違反事象の馴化が他の重力法則違反事象に転移するかどうか、すなわち重力に関する異なる2つの現象について片方の不可能事象への馴化後もう片方の不可能事象への注視時間も短くなるかどうかを調べることにより検討した。被験児は5～13ヶ月児であった。

結果と考察 転移は見られず、乳児は重力関連事象を体系的にというより個別の現象ごとに理解していることが示唆された。

第1のアプローチのまとめ

乳児期には月齢が進むのに伴い経験を重ねる中で急速に理解が深まる。そして最初の一年を終える頃

には、乳児は重力に関して充実した知識と外界の出来事の予測力を有するようになる。

支え関係の理解について乳児の認知の発達を見てみると、先行研究からは3ヶ月で物が宙に浮いているとおかしいということが理解されていることが分かっており、本研究から6.5ヶ月になると上の物が下の物に十分にのっていないと落ちることが理解され、10ヶ月でたとえ上の物の重心が下の物の上ののっていたとしても下の物の幅が非常に狭いと上の物は落ちることが理解されることが示された。乳児期には支え関係の理解が徐々に洗練されていき、大人と同じような判断ができていくようになることが分かった。また、予測が難しい現象に注目するといったこともできるようになる。そしてこの予測が難しい現象に注目するということについては、つかまり立ちという身体の発達が深く関連していることも示された。

しかし、乳児の理解は必ずしも大人と同じものではなく、様々な事象の背後にある何かを抽出する力については大人のような洗練された力はない。重力の法則という言葉で括って大人がイメージするような枠組みがあるという証拠はなく、むしろ乳児期の様々な予測は個々の現象ごとであるようだ。

第2のアプローチ——乳児の重力法則理解と大人の重力法則理解のつながり

第1のアプローチでは乳児期における発達を見てきた。そこで獲得された知識は大人にとってどんな意味を持つのであろうか。重力に関する知識は、幼児期になり言語を介して様々な教育や理解の助けが得られることによってその知識発達の仕方が大きく変化することは確かだが、乳児期とその後の時期の知識との間には連続する部分も多い。第2のアプローチでは、このつながりを確かめる1つの手段として幼児期においても成人期においても誤った予測の引き金になるような、認知を強力に支配している鉛直落下の法則を例にとり、これが乳児期からどのように獲得され支配的になっていくのかを示すことを目指した。この鉛直落下法則に関して、Hood (1995) は、2~4歳児にボールが曲がったチューブの中を転がり落ちる事象を見せ、複数並んだ出口のどこからボールが出てくるかを予想させた。その結果、2, 3歳児での失敗のパターンを見てみると、チューブの入り口の真下にある出口から出てくるという間違った予測をしていることが分かった。この原因として、Hood は、ものがまっすぐ下（鉛直方向）に落ちるといふ重力の素朴理論が幼児の外界認知において非常に優位であるため本来優先されるべき法則（ボールはチューブに沿って動く）を抑えて予測を支配している可能性を示唆した。本研究では(1) 鉛直落下法則の理解が乳児期のいつ頃出現するか、(2) Hood (1995)3の実験で2, 3歳児が示したような間違いを引き起こすほど支配的になるのはいつか、(3) 重力法則は、Spelke et al. (1992) が言うように、初めは支配力の弱い二次的な知識として獲得されるのかどうか、という点を一連の実験で検討した。

物体落下の方向性に対する敏感さ（実験4）

目的と方法 実験4では、物体落下の角度を操作し、それによって乳児がどの時期にどれくらい落下方向の鉛直方向からのずれに敏感になるのかを検討した。5~13ヶ月の乳児に、可能事象（空中でクマのぬいぐるみが放されると鉛直方向に落下する事象）、不可能事象（鉛直方向から45度ずれた斜め下に落下する事象）の2つの事象を、ビデオ映像で提示し、各事象に対する注視時間を測定した。

結果と考察 お座りのできる乳児は不可能事象の方をより長く注視した。このことからお座りができるようになると、乳児は垂直方向に落下する物体と斜め45度下に落下する物体を区別し、後者を不自然だと捉えていることが示された。

チューブ内落下課題における鉛直方向性エラーの出現時期の検討（実験5, 実験6, 実験7）

目的と方法 Hood(1995)の実験を受け、2歳時点で見られているチューブ課題における鉛直方向性エラーが乳児期に出現するのか、するとすればいつ頃なのかを実験5で検討した。4～13ヶ月児に、ボールが曲がったチューブの中を転がり落ちる場面で、可能事象（チューブの先の出口からボールが出てくる事象）と不可能事象（落とした位置の鉛直方向にある出口からボールが出てくる事象）とを提示し、注視時間から、乳児がボールはどちらの出口から出てくることを予測しているのかを調べた。

結果と考察 6.5ヶ月以上の乳児は可能事象の方を長く注視し、鉛直落下の法則に過度に支配されていることが示唆された。実験6,7から、この結果が、少なくとも9ヶ月以降の乳児については、単なる刺激への選好によって引き起こされたのではないことが示された。

連続性法則と重力法則の獲得時期（実験8, 実験9）

目的と方法 実験8,9では、Spelke et al. (1992)の刺激事象をもとに反連続性事象、反重力事象、どちらの法則にも違反しない可能事象を2～10ヶ月児に提示し、重力に対する敏感性よりも連続性に対する敏感性の方が優位で獲得時期も早いのかどうかを注視時間を指標として検討した。

結果と考察 どちらの法則に対しても法則違反への注目を示す証拠は得られなかった。これに関しては手続き上の問題点が指摘された。

鉛直落下法則の支配力の変化の道筋

乳児はかなり早い時期から物体は鉛直方向に落下するというを理解していることが示された。鉛直落下法則は誤概念の実験 (Kaiser et al., 1986) で示されるように大人も強く支配されている法則であるが、これはお座りのできる時期に理解されるようになり、乳児期後半にかけて支配的になる。それがHoodの課題で見られるような2歳、3歳児の探索の失敗につながる。大人の認知でも強力な鉛直落下法則は、生まれた時から理解されているのではなく、お座りという身体能力の獲得により経験が広がり、それを契機として獲得され、支配力を持つようになる性質のものである可能性が示された。鉛直落下の法則は、獲得されると同時に強い支配力を持っているものなのかを見るための実験8,9からは十分な吟味ができなかったが、先行研究の結果を受け入れるならば、垂直落下など物の運動や重力に関連する法則は連続性に比べて獲得時期が遅く知識の中核ではないはずであり、乳児期中頃に経験を積むことで支配的なものへと変化していくという可能性が高い。

第2のアプローチのまとめ

連続性とは違って重力の概念は理解が難しく言語を解した学問的知識の伝達によって正しい予測ができるようになることも十分考えられる。しかし同時に、鉛直落下法則についての実験からは重力法則の一部は乳児期においても非常に強く働き、幼児期のエラーも大人での誤概念も乳児期を起源としていることが示唆された。乳幼児期に獲得された重力法則の知識はその後の幼児期、児童期、成人期へとつながりを持って引き継がれていくと言える。

総合考察

乳児の知識はどこまで体系化されているのか

日常の現実場面で重力法則に合わないような現象を経験し、「どこが不自然か」「なぜおかしいか」と考えた時、私たちは重さや重心といった力を導入して説明をする。しかし、ある現象を経験した瞬間にそれが自然か不自然かを感じる時、私たちは重さの概念を用いているとは限らない。素人物理学で知識を論じる時、私たちこの2つの場合の知識を両方扱っていると考えられる。すなわち、起こったことを説明するための知識と、今日の前で起こっている事象が自然かどうかを認識する知識である。大人の重力法則知識は、前者については、重さや重心といった概念を用いることで明確な知識領域を形成しているはずであるが、後者においてはその必要性はなく、認識の即時性や diSessa (1993) の主張などから考えればむしろ現象レベルで行われていると推論することができる。

乳児の知識研究で用いられる注視時間は、驚きつまり不自然さの知覚の度合いを反映すると考えられており、測定されているのは後者の知識である。そこでは個々の現象レベルでの知識で十分であり、領域をまとめあげる体系的な概念を必要としない。

認知の発達を促すものは何か

これまでの乳児期における物理法則認知研究では、ほとんど全ての研究で月齢と認知機能との関連を見ており、身体能力と認知機能の発達を見たものはなかった。しかし、本論文では、実験2の再分析や実験4の再分析で、月齢ではなく身体能力の発達（あるいはそれに伴う経験の積み重ね）で法則理解を説明できることが示唆された。物理世界の認知を考える時、外界の認知をするという実際の経験の量と質を左右する身体能力の発達が重要な説明変数となりえる。重力法則に関しては、その特徴（鉛直方向という絶対軸が存在すること）から、その傾向が特に顕著に示されると考えられる。

測定方法の問題

事象によって高月齢での注視時間に不整合（実験1で最も長く見たのは不可能事象であったが、実験2ではそうではなかった）が見られたことから、乳児期における注視時間は、特に後期においては新奇性や不自然さの認知だけでなく、予測の難しい次の変化に注目する過程も反映していると考えられる。測定方法によって測られる過程が異なること、同じ測定方法でも発達に従って違う過程を測るようになることは、多くの研究結果の食い違いの原因となっている可能性がある。

本研究の意義と今後の展望

本研究によって、重力法則に関して乳児がどのような理解をしているのかを体系的に検討することができた。つまり、乳児期の重力法則理解が、どのような順序で発達するのか、どのような契機によって発達するのか、現象間にどういった知識のつながりがあるのか、幼児期以降の知識とどのような連続性を持っているのかを把握できた。

重力法則理解は、単純な落ちる落ちないの判断から落下の加速度の理解まで幅広い段階があり、乳児期の間にもいろいろ進歩の段階が考えられる上に、大人になっても完全な理解は難しい。これは、乳児期からその発達を詳細に調べるのに非常に適した性質だと言える。この利点を十分に活かし、この論文の知見をさらに発展させ、乳児期の理解の構造とその発達の仕方、身体能力の発達と経験がそこに果たす役割を詳細に吟味することによって、人間の物理的知識のより深い理解に貢献する研究が望まれる。

論文審査要旨

旦直子君提出の学位請求論文「乳児における重力法則理解の発達」の審査は、査読の後に、2002年7月16日に口頭試問を行い、主査、副査が合議した。その結果、審査者全員が本論文を博士（心理学）に相当するものと評価したので、慶応義塾大学大学院社会学研究科に報告する。審査の概要は以下の通りである。

本論文は、乳児認知研究の一つの中心的テーマである素朴物理学的知識の発達に関して、重力法則の理解に焦点をあてて検討したものである。近年、乳児が物理的世界をどのように捉えているかに関しては、E. Spelke, R. Baillargeonをはじめ、いくつかの注目すべき研究が行われてきたが、重力に関係する様々な現象を取り上げその知識の発達を体系的に検討した研究はない。また、重力法則知識の獲得時期には個人差が大きいにもかかわらず、年齢以外の規定因は、まったく明らかになっていない。この論文では、この2点に関して刷新的な実験とデータ解析を行っており、乳児認知についての理解に大きな貢献をなすものである。

本論文は、乳児の重力知識とそれを取り巻く様々な事項についての知見を踏まえ、(1) 生後1年間の重力法則理解の発達の検討、(2) 乳児から幼児、大人への理解の連続性の検討を行なっている。

(1) 乳児の認知世界での重力法則理解

ここでは、支え関係理解の洗練、支え関係理解の発達と身体能力の関連、重力法則理解の体系性、というサブトピックスをとりあげ、3つの実験を行なっている。まず、4～12ヶ月の乳児に、安定事象（上の箱が幅の広い下の箱ののっており安定した事象）、不安定事象（上の箱が幅の狭い下の箱の上ののっており不安定な事象）、不可能事象（上の箱の重心が下の箱の上ののっていないのに落ちない不可能な事象）の3つの事象を提示し、各事象に対する乳児の注視時間を測定しその発達的变化を月齢を追って検討した。

その結果、およそ6.5ヶ月で不可能事象を安定事象よりも長く注視するようになり、10ヶ月で不安定事象を安定事象よりも長く注視するようになった。このことから、支え関係の理解は生後1年の間にだんだんに洗練されていき、大人の判断に近い判断ができるようになる、つまりこれから起こる出来事の予測が的確にできるようになっていくことが示唆された。また、対象間の接触量と重心からのずれの大きさを段階的に変化させた実験では、10ヶ月以上の乳児において落ちるか落ちないかぎりぎりの支え関係を有意に長く見るという結果が得られた。しかし、より詳細な分析によると、「つかまり立ち」という要因が年令以上に、注視時間の差を説明できることが示された。すなわちつかまり立ちのできる乳児はできない乳児に比べて、落ちるか落ちないかぎりぎりの支え関係事象に注目していた。つかまり立ちすなわち自分自身の体のバランス調節を学ぶという経験が、落ちるか落ちないかぎりぎりである関係への関心を高める可能性が示唆されたのである。

さらに、重力法則違反事象への馴化が他の重力法則違反事象に転移するかどうかを、5～13ヶ月児で検討したところ転移は見られず、乳児は重力関連事象を体系的にというより個別の現象ごとに理解していることが示唆された。

以上の結果から次のことが言えよう。物が宙に浮いているとおかしいということは、3ヶ月ですでに理解されていることが先行研究でしめされている。本研究からは、6.5ヶ月になると上の物が下の物に

十分にのっていないと落ちることが理解され、10ヶ月でたとえ上の物の重心が下の物の上ののっていたとしても下の物の幅が非常に狭いと上の物は落ちることが理解される。乳児期にはこのように、支え関係の理解が徐々に洗練されていき、やがて大人と同じような判断ができるようになる。また、予測が難しい現象に注目するといったこともできるようになる。そしてこの予測困難現象への注目は、つかまり立ちという身体的発達と関連している。

(2) 乳児の重力法則理解と大人の重力法則理解のつながり

乳児期において獲得された重力に関する知識は大人にとってどんな意味を持つのであろうか。幼児期になり言語を介して様々な教育や理解の助けが得られることによって知識発達の仕方が大きく変化することは確かだが、乳児期とその後の時期の重力に関する知識の間には連続する部分も多い。ここでは、このつながりを確かめる1つの手段として、幼児期においても成人期においても誤った予測の引き金になるような、認知を強力に支配している(誤った)「鉛直落下法則」(ものがまっすぐ下、鉛直方向に落ちるといふ重力の素朴理論)を例にとり、これが乳児期からどのように獲得され支配的になっていくのかを一連の実験で検討している。

可能事象(空中でクマのぬいぐるみが放されると鉛直方向に落下する事象)、不可能事象(鉛直方向から45度ずれた斜め下に落下する事象)の2つを、ビデオ映像で提示し、5~13ヶ月の乳児の各事象に対する注視時間を測定した実験では、「お座り」のできる乳児は不可能事象の方をより長く注視することが示された。

さらに、Hood (1995)の実験を受け、2歳時点で見られているチューブ課題における鉛直方向性エラーが乳児期に出現するのか、するとすればいつ頃なのかを検討した。4~13ヶ月児に、ボールが曲がったチューブの中を転がり落ちる場面で、可能事象(チューブの先の出口からボールが出てくる事象)と不可能事象(落とした位置の鉛直方向にある出口からボールが出てくる事象)とを提示し、注視時間から、乳児がボールはどちらの出口から出てくることを予測しているのかを調べた。6.5ヶ月以上の乳児は可能事象の方を長く注視し、鉛直落下法則に支配されていることが示唆された。補充実験から、この結果が、少なくとも9ヶ月以降の乳児については、単なる刺激への選好によって引き起こされたのではないことが示された。

要約すると、「鉛直落下法則」は、お座りという身体能力の獲得を契機として獲得されるが、その一部は乳児期においても非常に強く働き、幼児期のエラーも大人での誤概念も乳児期を起源としていることが示唆された。乳幼児期に獲得された重力法則の知識は、その後の幼児期、児童期、成人期へとつながりを持って引き継がれていくと言える。

本論文の最後に置かれた総合考察で、著者は、以上見てきた多くの見事な実験の根底にある3つの認識論的問題を論じている。第1は、とくに乳児の素朴物理学で論じられている知識の性質についてである。すなわち、著者は、本論文で扱われてきた知識は、大人が持っているような「起こったことを説明するための知識」ではなく、今日の前で「起こっている事象が自然かどうかを認識する知識」だという。そして、明確な知識領域を形成している前者とは異なり、後者はむしろ個々の現象に関するものではないか、と推論している。これに関連して第2に、こうした直観的、個別的物理世界の認知においては、外界の認知をするという実際の経験の量と質を左右する身体能力の発達が重要な規定因になっている、

と述べている。これはもちろん、著者自身の実験結果すなわち年齢（月齢）ではなく身体能力の発達（あるいはそれに伴う経験の積み重ね）により法則理解を説明できるという知見にもとづくものだが、同時にそれが身体化された認知 (embodied cognition) の主張とも首尾一貫していることが注目されよう。

第3に、乳児認知の研究で用いられる注視時間は、驚きつまり不自然さの知覚の度合いを反映すると考えられており、これは「自然かどうかを認識する知識」を反映していると想定されるが、この想定は必ずしも常に正しいとはいえない可能性が指摘されている。実際、著者の実験でも、注視時間が、特に高月齢の乳児においては、新奇性や不自然さの認知だけでなく、予測の難しい次の変化に注目する過程も反映しているとみなしうる。

乳児認知は、発達心理学の中でも、我が国の研究がもっともたちおけている分野といわざるをえないが、著者による一連の研究は、例外的といってよいほどの高い水準を保っている。これは、審査者らが中心になって進めた重点領域研究「心の発達：概念的成長の機構」で来日した世界最高水準の研究者の多くが、著者の研究をきわめて高く評価していたこと、支え関係理解の洗練に関する実験論文が、乳児研究の top journals の一つである *Developmental Science* 誌に公刊されていること、さらにこの論文は Baillargeon (2001) などに早速引用されていること、などから明らかである。もちろん著者の研究に欠点や限界がないわけではない。例えば、物理世界の認知が身体能力の発達により規定されるという知見は確かに注目に値するが、つかまり立ちやお座りがいかなる認識行動を可能ないし容易にするのか、その具体的なメカニズムは特定されていない、長い注視時間が「期待に反する事象」に向けられるという想定の妥当性がほかの方法との収束により確認されていない、などが挙げられよう。しかし、これは乳児認知研究の現状からやむを得ない弱点であり、本論文の価値を減ずるものではない。審査者としては、著者の将来の研究が、こうした乳児認知研究の弱点を克服する先駆的なものとなることを信じていたい。