

慣性の概念の獲得に関する一考察

—静止体と運動体に働く慣性—

目白大学保健医療学部 西方毅

【要約】

現在の発達心理学における中心的課題の一つは、外界に対する知識をほとんどもたずに生まれる乳幼児がどのような過程を経て知識を獲得していくかを明らかにすることである。この実験では、この流れに沿って、小学生、中学生、大学生が慣性の概念をどのように理解しているかを検討する。

静止している物体が動き始めるときに、慣性により後ろ向きの力、運動している物体が停止するときには前向きの力が働く。この力についての理解は、小学校2年生では半分以上が理解しており、小学校5年生、中学生、大学生では、80%前後が理解していた。これらのことから、物体に働く慣性の作用については、小学校低学年くらいから理解が始まり、小学校5年生くらいでほぼ正確に理解されるようになると考えられる。また、発車時と停車時の慣性の作用では、停車時の方が先に理解されるようである。ただし、この点についてはさらなる検討が必要であろう。

キーワード：慣性、運動、概念、子ども、発達

1. はじめに

現在の発達心理学の中心的課題の一つとして知識獲得研究が挙げられる。その中でも、特に乳幼児期において、子どもたちがどのように知識を獲得していくかについては、さまざまな研究が進められている。乳児期における物理概念の理解 (Spelke, 1990)、自発的概念形成 (Vosniado, 1992) などはその例である。力学的概念の獲得においても研究が進められている (青木 1992, 且 1998 など)。しかし、それらの研究はまだまだ少なく、子どもたちがどのように力について理解しているかはほとんど分かっていない。

この研究では、子どもがどのように慣性を理解しているか、どのように理解していくかを追求するものである。慣性は、「ニュートンの第一の運動法則」として、Newtonによって定式化されている。それは、簡単に言えば、「慣性系に

おいては、物体は、外部からの力が作用しない限り、その運動状態を維持しようとする性質を持つ」ということである。すなわち、静止しているもの ($v=0$ の運動状態にある) は、静止続けるであろうし、等速直線運動をしているもの ($v=c$ の運動状態にある) は、その運動状態を続けるであろう、というものである。

子どもは、この性質について「慣性」という言葉で学ぶ以前に、何らかの形で理解していることが予想される。なぜなら、慣性は我々の日常生活のあらゆる場面で、物体の運動として知覚されるからである。

この研究では、子どもがそのような慣性運動の理解をどのように発達させていくか、その過程を検討する。すでに、誤概念としての慣性理解については報告してきた (西方2005, 2006, 2007)。今回は、静止慣性^(注1)、動慣性^(注2) についての調査結果を報告する。

2. 研究方法

小学生、中学生、大学生共に集団で実施する。ビデオによる例示と解説により課題が提示され、物体の運動について推測し、印刷してある質問紙に回答を記入する。

課題は、模型の自動車とその屋根に載せられている固定されていない荷物が、自動車の急発進時と急停車時に、前方、後方のどこに落ちるかを問うものである。Fig. 1は、発進時の荷物の運動についての課題図である。

3. 結果

被験者の年齢分布はTable 1の通りである。

1) 正答率の分布

自動車が急発進するときには、荷物は静止慣性の効果により、自動車の後方に落ちる。Fig. 2は、各年齢段階の回答についてまとめたものである。

小学2年生のみ正答率が低くなっているが、小学5年生、中学2年生、大学生の正答率はほとんど同じであった。正答率の群間差は、小学2年生-中学2年生間のみ有意 ($\chi^2 = 4.541$, $df = 1$, $p < 0.05$) であり、他の学年間の差は有意で

はなかった。小学2年生-小学5年生間の差は、被験者数が少なかったために有意にならなかったのではないと思われる。このことは、小学5年生と中学2年生の回答分布が極めて似ていることから推測されるが、この点については、さらに被験者数を増やして検討する必要があるだろう。

次に、自動車の急停止の場合である。走っている自動車にはエンジンからの動力だけでなく慣性が働いている。そのために、急に停車する場面では、自動車と共に移動している物体は動慣性により前方へ落ちる。この状況に対する各年齢段階の判断・回答をまとめたものがFig.3である。

ここでも、小学5年生、中学2年生、大学生の分布は極めて似ているが、小学2年生のみ異なっている。前方へ落ちると言う正答の割合を比較すると、小学2年生-小学5年生間の差が有意 ($\chi^2 = 8.476$, $df = 2$, $p < 0.005$) であるのを始め、中学2年生、大学生との差も有意であった (いずれも $p < 0.005$)。一方、他の学年間の差は有意ではなく、分布も極めて類似したものになっている。



Fig. 1 課題図 (発進時)

Table 1 年齢分布

| | 小2 | 小5 | 中2 | 大学 | 合計 |
|----|----|----|----|----|-----|
| 男子 | 18 | 18 | 43 | 20 | 99 |
| 女子 | 18 | 13 | 40 | 26 | 97 |
| 合計 | 36 | 31 | 83 | 46 | 196 |

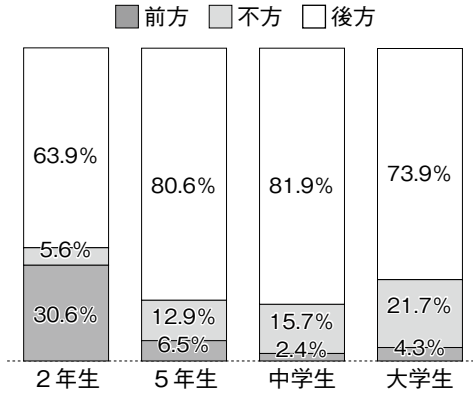


Fig. 2 発車時の荷物の落下方向

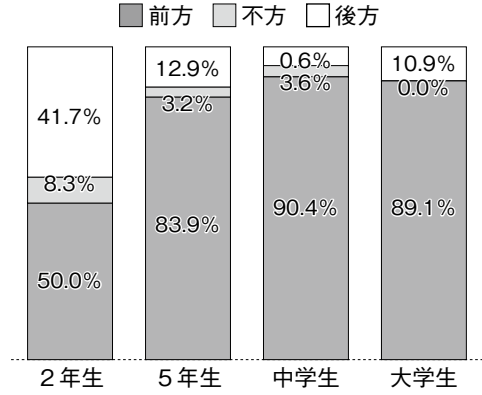


Fig. 3 停車時の荷物の落下方向

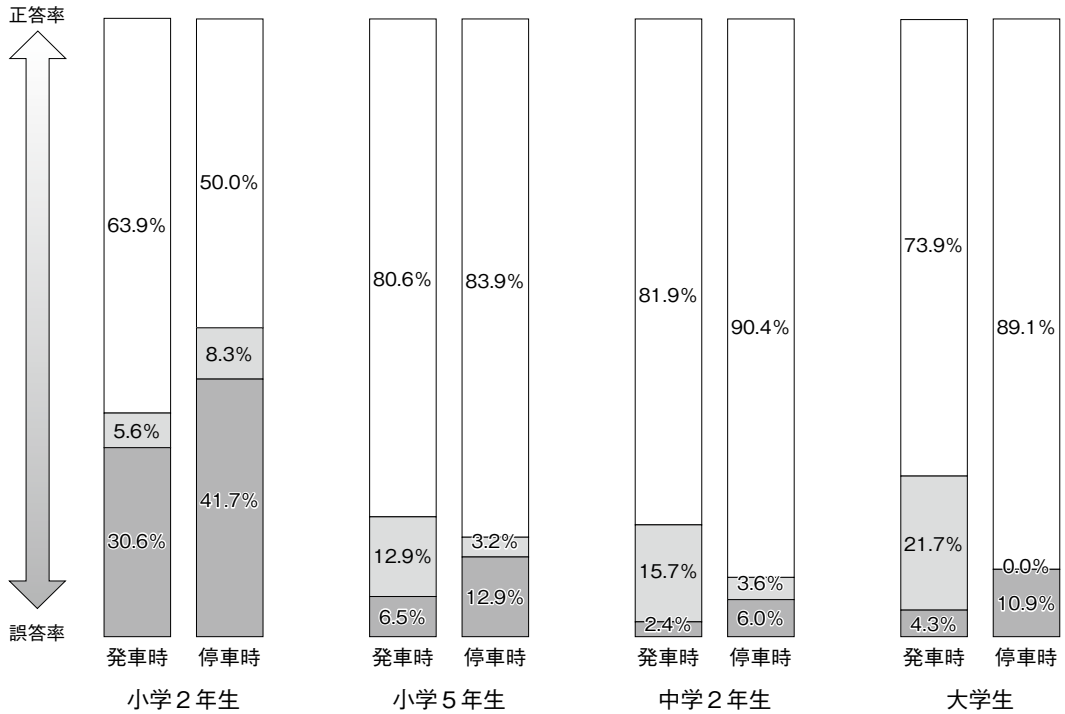


Fig. 4 発車-停車間回答分布

静止慣性、動慣性の結果がまったく同様の結果を示したことから、発車、停車のいずれの状況においても小学2年生のみ正答率が低いと結論してよいであろう。

2) 発車-停車間の相違

このような静止慣性と動慣性の理解は同時に生じるであろうか。すなわち、発車時の慣性力の働きと停車時の慣性力の働きについて、子ども

もは同時に理解するであろうか。その点を検討するために発車時と停車時の年齢ごとの回答分布を比較したのがFig. 4である。各学年共に、左が発車時、右が停車時の運動に対する回答分布である。両課題共にグラフの上部が正答である。

小学2年生では、停車時よりも発車時の正答率が高くなっている。それ以外の学年では、すべて発車よりも停車の方が正答率が高い。この

両者、発車－停車間の分布の差は、どの学年でも有意ではなかった。とはいえ、3つの年齢段階で同様の分布を示していることは、発車と停車では、理解に若干の相違が存在する可能性を示唆するように思われる。

3) 発車－停車課題、回答の組み合わせ

発車時と停車時の物体の運動には、 $3 \times 3 = 9$ 通りの組み合わせがあるわけだが、その分布はどうだろうか。すべての組み合わせを取り上げる必要性はないと思われるので、正しい運動方向(正)、逆の運動方向(逆)判断の組み合わせのみ取り上げて検討する。「正－正」という表記の前者は発車時、後者は停車時である。

Table 2は、各組み合わせの年齢段階ごとの出現率である。小学2年生の回答組み合わせの分布である。小学2年生を除いて、他の年齢段階では「正－正」の組み合わせが70%を占めている。ここで興味深いのは、小学2年生で、「正－逆」および、「逆－逆」の組み合わせが多く見られることである。この二種の回答は、小学5年生の「正－逆」、6.5%を除けば、他の学年では5%以下しか見られない。小学2年生にのみ20%程度見られるのである。

以上の結果については、小学2年生と他の学年間の分布の差のみが有意であり、他の学年間には有意な差はなかった。

なお、中学2年生と大学生の回答で、「その他」に分類されているものを詳細に見ると、発車時は、「どちらに落ちるか分からない」と答え、停車時のみ正確に答えるものがかなり多く、中学2年生では14.5%、大学生では17.4%に及んでいる。この点については、統計的に検討はしていないために、この比率に意味があるかどうか判別できないが、示唆的な結果であると言えよう。

4. 要約と考察

以上、静止慣性と動慣性についての回答を見てきた。ここで、要約と考察を行う。

まず、正答率の分布であるが、小学校2年生を除いて、他の学年間の分布が、発車時、停車時共によく似ていたことである。このことは結果の信憑性の高さを示すものであると同時に、動慣性、静止慣性の獲得時期を示している。すなわち、小学校の低学年時(あるいはそれ以前かも知れないが)に、動慣性、静止慣性共に理解が始まり、小学校5年生の頃には、ほぼ十分な理解が成立するということである。

では、それらはどのようにして成立するのであろうか。この点については、国内外問わず、まったく研究されていないために不明である。ただ、成人と同様な慣性の理解については、幼児期にはすでに始まっていると思われる。このことは、幼児における身体感覚として慣性の理解が、すでに3～4歳児から始まっているという事実(西方 2008)からも推測される。おそらく、身体感覚としての慣性が映像的あるいは言語的に表象され、意識化され、さらにそれが外的な物体に適用されるようになっていくのではないかと推測される。

次に、静止慣性と動慣性では、理解に相違があるかどうかであるが、小学5年生、中学2年生、大学生のいずれにおいても、動慣性の正答率が高かった。結果の項で見たように、この二者間には有意差がないために、動慣性の正答率が高いと言い切ることはできないが、一貫した傾向であるためにその可能性は高いと思われる。中学生、大学生において、発車時はどちらに落ちるか分からないが、停車時は前方に落ちると言う回答がそれぞれ14.5%、17.4%あったこともその可能性を支持する。

もしそうであるとすれば、それは動慣性体験

Table 2 回答組み合わせ分布

| | 正－正 | 正－逆 | 逆－正 | 逆－逆 | その他 |
|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| 小学2年生 | 44.4% | 19.4% | 5.6% | 19.4% | 11.2% |
| 小学5年生 | 77.4% | 6.5% | 3.2% | 3.2% | 9.7% |
| 中学2年生 | 73.5% | 4.8% | 2.4% | 0.0% | 19.3% |
| 大学生 | 69.6% | 4.3% | 2.2% | 2.2% | 21.7% |

の機会が多いことから説明できる。たとえば、自動車が急停車する場面で、我々は身体が前方に傾く体験をする。進行方向に対して、急速な負の加速度がかかることにより、慣性力が前方に働くからである。ところで、その逆の発進時には、我々は身体が後方に傾く体験をしない。あるいは少なくとも意識化しない。これは、発進時の加速度が小さいためにそれに伴う慣性力が小さいこと、および背もたれがあり、慣性力を吸収し身体の運動を押さえることによる。

この体験は、子どもでも同様である。このことから、子どもはまず動慣性に気づくことから慣性概念を形成し始めるという仮説が立てられる。この仮説は体験的に自然なものである。ただし、今回の結果、特に小学2年生の結果は、この仮説を支持していない。今回の小学2年生の結果では、静止慣性の正答率が高いのである。

この矛盾については、以下のように解釈できる。物体の落下方向の正一逆組み合わせの分析から、小学5年生では、他の学年よりも「正一逆」、「逆一逆」の回答が多かった。「正一逆」の回答は、発進時の物体の運動については正しく答え、停車時の物体の運動については、正しい運動方向と逆の方向を答えるものである。「逆一逆」の回答は、発進時、停車時共に正しい運動方向とは逆の方向を答えるものである。この両者共に、今回の課題が慣性による運動としては捉えられておらず、別の何らかの理由に基づいて判断したものであることを示唆する。^(注3)

このように解釈すれば、今回の結果で、静止慣性の正答率が高かったことについては、説明が可能である。正しく慣性を理解して回答したものを（もし判別できればの話ではあるが）調べてみれば、動慣性の理解の方が早く成立しているかも知れない。

いずれにせよ、動慣性が先に成立するという仮説は、常識的には納得のいくものではあるが、今回の結果からは十分には支持されていない。今後の課題として追求する予定である。

以上、静止慣性、動慣性の概念・意識化について検討してきたが、この2者は、おそらく幼児期に意識化が始まり、小学校5年生までに一貫した運動理解となるものと思われる。

Newtonの運動法則では「慣性の法則」としてまとめられているが、実際には静止慣性と動慣性は、異なった現象と捉えられている可能性がある。たとえば、 $v=c$ の運動状態は内的エネルギーをもっている、 $v=0$ の運動状態は内的エネルギーを持たないなどの理解である。(Vosniado, 1994) そのために、その理解には時間的なずれがあり、おそらくは動慣性が先に理解され、それから静止慣性が理解されるものと考えられ。また、静止慣性、動慣性が実は一つの性質の異なった表れであると言うこと、すなわち「慣性の法則」として一つにまとめられると言うことは、物理学を学ぶまでは理解されないであろう。これらの点はまだ十分に証明されていないし、その過程も研究されていない。今後の課題として追求していきたい。

【注】

(注1) 慣性の法則によれば、静止している物体は静止状態を続けようとする。このような慣性の作用により、発車時には、荷物は自動車の運動から取り残され後方に落ちる。本稿では、このような $v=0$ 時の状態の慣性を「静止慣性」と呼ぶことにする。

(注2) 運動している物体はその運動状態を続けようとする。このような慣性の作用により、停車時には、荷物は自動車の運動から取り残されて前方に落ちる。本稿では、このような $v=c$ の状態の慣性「動慣性」と呼ぶことにする。

(注3) 運動の理由として、たとえば、「動き出すときに前に行かないといけないから」、「止まるときには、後ろに引っ張られるから」と考える者がいる。(西方2008 補足資料)

【参考文献】

- Amsel, E., Savoie, D., Deak, G., & Clark, M. (1991), Preschoolers' understanding of gravity. *Proceedings of the thirteenth annual conference of the Cognitive Science Society*. pp.600-605. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- 青木多寿子 「重さの判断過程の誤りに及ぼす知識の影響とその発達」 *心理学研究* 1992, 63, 185-195
- 西方毅 (2005) 「物体の運動理解に関する研究

- 慣性に関する誤概念(1)— 目白大学心理学研究第1号 49-59
- 西方毅(2006)「物体の運動理解に関する研究—慣性に関する誤概念(2)—目白大学心理学研究第2号 49-59
- 西方毅(2007)「物体の運動理解に関する研究—慣性に関する誤概念(3)—目白大学心理学研究第3号 49-59
- 西方毅(2008)「慣性運動の発達」日本教育心理学会第50回総会 東京学芸大学(発表取消)
- Spelke, E. S. (1990), Principles of object perception. *Cognitive Science* 14, 29-56
- 且 直子・大森貴秀・富安芳和(1998)「乳児における重力法則違反の理解—違反事象への馴化の移転を指標として」日本心理学会62回大会論文集 307
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. 1992 Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive psychology*, 24, 535-585.
- Vosniado, S. 1994 Capturing and Modeling Conceptual change. *Learning and Instruction*, Vol.4. pp45-69.

A study on acquisition of concept of inertia

— inertia on still objects and moving objects —

Tsuyoshi Nishikata Mejiro University, Faculty of Health Sciences

Mejiro Journal of Psychology, 2009 vol.5

【Abstract】

One of the main subjects of developmental psychology today is knowledge acquisition study. This study is to explore how the children get the concept of inertia.

When still objects stir, they get force in opposite direction with their movement. On the contrary moving objects get force in the same direction with their movement when they stop.

Over 50% of second grade children understand this movement and about 80% of fifth grade children, junior high school students and university students understand also.

These data suggest that children get the concepts of inertia in the lower grade of elementary school. Understanding of the inertia with action on still objects and moving objects seems to be acquired in different time.

keywords : inertia, movement, concept, child, development