

# 温度の内包理解の発達的变化

鈴木宏昭

青山学院大学文学部

近年の認知発達研究は馴化や選択的注視などの実験手法を用いることにより、子どもが生後1年までに物理現象を説明するためのかなり洗練された理論を持っていることを明らかにしてきた(Baillargeon, Kotovsky, & Needham, 1995; Spelke, 1991)。一方、多くの素朴物理研究は、大学教育を受けた成人であってもその物理の理解は、正当な物理学理論とは全く異なっていることを指摘している(diSessa, 1993; McCloskey et al., 1983, 村山, 1989, 塩川他, 1987)。たとえば、物体の性質や基本的な運動については乳児でも理解できるのに対して、力のベクトルや力学的な意味での慣性や作用反作用については大人であっても正当な理解にはほど遠いレベルにある。

発達の初期の有能性と成人の無理解という一見不可解な現象の背後には、扱う物理現象の違いが存在すると考えられる。乳児研究の扱う物理現象は一般に物体の性質そのものや直接的に観察可能な運動の結果についてのものである。一方、成人を対象とした素朴物理研究では、力、慣性、運動の成分など直接的には観察できないものの働きを取り上げている。これらの分野では、確かに大人でも正当な理解に達することはまれであるが、子どもの理解は大人のそれともまた異なったものである可能性もある。そして発達の過程において、質的な変化が生じている可能性もあると考えられる。

このような観点から、本研究では熱と温度についての子どもの理解の発達を取り上げる。熱と温度及び燃焼はきわめて日常的な現象であり、人間は系統発生的にも固体発生的にもそのもっとも初期からこれらに接してきている。しかし、こうした日常性にもかかわらず、その解明には原子論的物質観、熱力学第1, 2法則などを用いたシステムの理解が必要であった。科学史上からも明らかのように、このような正統な理解は一挙に達成されたわけではむろんなく、燃焼についてのフロギストン説に始まり、ラポアジェ、ジュール、カルノーらの巧妙な実験と理論化を経て、熱力学の法則として定式化されたものである。

したがって、こうした理解が一個人の個体発生の中で完全な形で再現されることはまれであることは容易に理解できる。たとえば、熱のフロギストン説は、子どもはおろか大人においても観察されている。たとえば、多くの人は物体は暖かさが冷たさを持っていて、それを他の物体に伝えるという考えを持っている。ここでは暖かさや冷たさの実体化が見られる。また、燃焼についての仮説実験授業では、物質の燃焼後の質量増加を実験的に示すことが重要であるとされている。これは、子どもが自然にフロギス

トン説に類似した素朴理論を構成していることがその理由である。また、温度についても事態は同様であり、小学生の多くは温度をそれとは無関係な物体の属性と混同している場合もある。たとえば、大きい氷と小さい氷の温度を尋ねると前者の方が低いと答えたり、鍋は水よりも冷たい（温度が低い）というような理解をしている（Erickson, 1979, 1980）。こうした誤概念は小学校高学年になっても克服されず、場合によっては大人になっても保持されているという（Driver, Guesne, Tiberghien, 1985）。

昨年度は、等温、あるいは異なる温度の液体の混合による温度変化について、幼稚園児を対象とした実験の結果を報告した（鈴木, 1999）。この結果は上述した従来の研究結果とは大きく異なるものであった。当初予想していた、熱い液体同士の混合により液体はより熱くなる、また冷たい液体同士の混合により液体はより冷たくなるという反応は就学前児においてすらほとんどみられなかった。そして全体の正答率は70%を越えるという驚くべき結果が得られた。また、課題による差、年齢差が全く見られず、4歳以降はほぼ大人と同じ理解に至っていることが示唆された。

しかしながら、この研究で用いた得点化には1つの問題がある。この研究では、等温の熱い液体の混合において「より冷たくなる」、等温の冷たい液体の混合において「より熱くなる」も正答と見なしている。これは、別容器に移すことにより液体を混合しているため、混合液体の温度がその容器の温度、つまり室温に近づくことが現実には生じるという事情を考慮したためであった。実際、この方法で得点化を行うことにより、正答率が飛躍的に増加した。しかしながら、上記の子どもの反応がこのような推論の結果生じたものであるという保証はない。

そこで本研究では、変化の程度を尋ねることにより、この問題点を回避し、より正確に子どもの温度の理解を把握することを試みる。具体的には、上記のような反応が生じた場合、どの程度熱く（あるいは冷たく）なるのかを尋ね、その度合いが少ない場合のみを正答とした。また、別容器に入れることによる温度変化を子どもが実際に理解しているかどうかを、混合とは別文脈で確かめることとした。

## 実験

### 方法

**被験児**：都内幼稚園児年少児9名（平均月齢51ヶ月）、年中児13名（平均月齢60ヶ月）、年長児14名（平均月齢76ヶ月）及び、都内学童保育クラブ児童1年生11名、2年生10名、3年生10名の計67名が被験児として実験に参加した。

**課題**：課題は混合課題を6題及び確認のための付加課題2題からなっていた。混合課題では、3つのタイプの課題を用意した。1つめは冷たい液体と冷たい液体を混ぜるCCタイプ、2つめは熱い液体と冷たい液体を混ぜるHCタイプ、3つめは熱い液体と熱い液体を混ぜるHHタイプである。各々のタ

イブについて、2 題ずつ課題を用意し、計 6 題の課題を実施した。なお、CC、HH 課題では混ぜ合わせるものが等温である。

各課題は基本的に 4 つの場面からなる紙芝居の形式で実施された。各紙芝居には子どもに馴染み深い 3 人(あるいは 3 匹)のキャラクタが用いられた。第 1 場面ではそのうちの 2 人が熱い、あるいは冷たい飲物を準備している。第 2 場面では、第 3 のキャラクタが登場し、その飲物を分けてほしいと依頼し、第 3 場面でそれが実行されるというものである。第 4 の場面では、混ぜた液体と他の液体の温度との比較をさせる。

その後、被験者は混ぜ合わされた液体が元の液体よりも、熱いか、冷たいか、あるいは同じかを問われた(なお、問いの順序は被験者間でカウンターバランスをとった)。ただし、HH および CC 課題では元の 2 つの液体が等温であるとしているため、質問は 1 回であったのに対して、HC 課題では元の 2 つの液体との温度の比較を各々行うため、1 課題につき 2 つの質問を受けた。また、CC 課題において第三の液体がもとの液体よりも熱い(暖かい、あるいはぬるい)、HH 課題において第三の液体が冷たい(ぬるい)という回答がなされた場合は、その程度をたずねる質問を行った。

付加課題は、第三の容器に液体を移すことにより、温度が変化することを子どもが認識しているかを確認するために行われた。これらの課題では、単に熱いお湯、あるいは冷たい水をコップに移すと温度がどのように変化するかを尋ねた。

以下、各タイプについて 1 題ずつ例を挙げる。

● CC タイプ

1. くまさんとりすさんは、冷蔵庫からとってもよく冷えた牛乳を取り出して、2 人で仲良く飲もうとしていました。
2. そこへネコさんがやって来て、「私ものみたいなあ。」と言いました。
3. 牛乳はもう残っていなかったので、2 人は少しずつ分けてあげることにしました。
4. じゃあここでクイズをだすよ。くまさんの牛乳も、りすさんの牛乳もずっと冷蔵庫に入っていたので同じくらい冷たいです。こっち(くま、りすの牛乳を指す)とこっち(混ぜたもの)ではどっちが冷たいかな?それとも同じ冷たさかな? («混ぜたものが温かい」という反応が出た場合には、「どのくらい温かいの?うーんと温かい?それともちょっとだけ温かいの?」と尋ねる。)

● HH タイプ

1. アンパンマンとショクパンマンとカレーパンマンは、ジャムおじさんに頼まれてお湯を沸かしていました。
2. そこへバイキンマンがやって来て、ショクパンマンのお湯を全部こぼしてしまいました。
3. 困っているショクパンマンのために、アンパンマンとカレーパンマンは自分のお湯を分けてあげることにしました。
4. 2 人はずっとお湯を沸かしてたから、お湯は同じくらい熱いよ。アン

パンマン、カレーパンマンのお湯とショクパンマンにあげたお湯ではどっちが熱いかな？それとも同じかな？（「混ぜたものが冷たい」という反応が出た場合には}、「どのくらい冷たいの？うーんと冷たい？それともちょっとだけ冷たいの？」と尋ねる。）

#### ● HC タイプ

1. ケロリーヌはのどがカラカラに乾いていたのでケロップとモンキチに紅茶を持って来てとお願いしました。
2. ところが、ケロップはお家からあつあつの紅茶を、モンキチはお家の冷蔵庫でよく冷えていた、冷たい紅茶を持って来ました。
3. ケロリーヌは一度にそんなにたくさん飲めないで、ケロップのあつあつの紅茶とモンキチのひえひえの紅茶を少しずつ別のコップにもらって飲むことにしました。
4. ここでクイズね。こっち（ケロップの紅茶）とこっち（2人が分けてあげた紅茶）、どっちが熱いかな？それとも同じくらいかな？ こっち（モンキチの紅茶）とこっち（2人が分けてあげた紅茶）どっちが冷たいかな？それとも同じかな？

手続き：被験児は一人ずつ、実験用の別室に呼ばれ、名前や組の確認を行った後、一対一で紙芝居を見せられ、質問を受けた。CC1、HC1、HH1、CC2、HC2、HH2の順に固定した順序で課題を実施した。被験児からの質問には一切答えず、またフィードバックも行わなかった。なお、混合課題6題終了後、付加課題を2題行った。

#### 結果

まず練習効果、性別×年齢、質問順序×年齢の分散分析を行ったが、年齢の主効果以外の効果は見られなかったため、以降は年齢以外の要因についての報告は行わない。また同タイプの問題同士の間でのT検定を行ったが、いずれのペアにおいても有意な差はなかったため、以降は同タイプの問題の得点は合計点で示す。

素得点の分析：次にCC、HH課題における「等しい」という回答、HC課題における「中間」の回答を正答としたときの平均正答数を図1に示す。この図から明らかなのは、HC課題は他の課題に比べて難易度が低いという点である( $F(2,122)=22.39, p<.001$ )。また、この課題では、就学前児（特に年少、年中）と児童（特に2、3年生）との間に顕著な差が見られる( $F(5,61)=9.95, p<.001$ )。前者では高々60%程度の正答率であるのに対して、後者では90%から100%の正答率となっている。

一方、等温の液体の混合となるCC、HH課題では確かに加齢に伴い正答率の漸次的な増加は見られるが、3年生においても正答率は高々50%程度にすぎない。また、年少、年中児においては正答するものはほとんど存在しない。

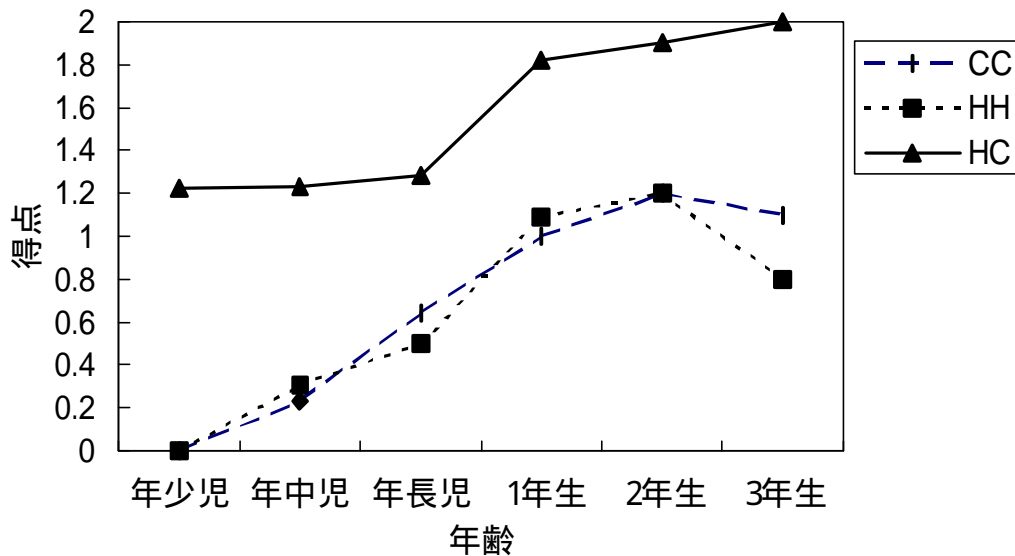


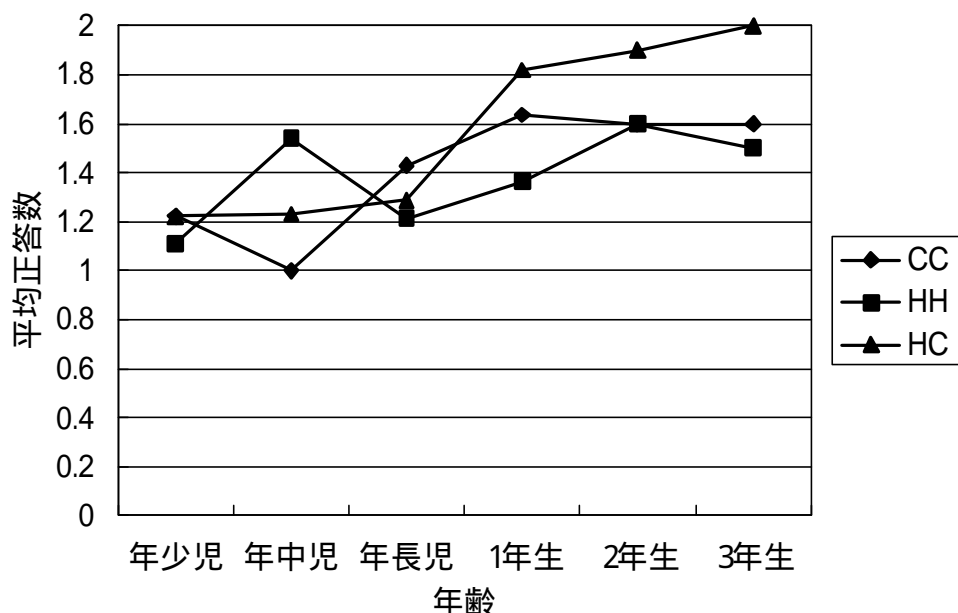
図 1:素得点の年齢変化 (2点満点)

しかしながら、このように得点化を行った場合、課題の曖昧さに起因する問題から幼児の温度の理解を不当に低く見積もっている可能性がある。同じ温度の液体を混ぜ合わせた場合、新たな容器にそれを入れることにより、温度はいくぶん室温(あるいは新しい容器の温度)に近づく。つまり、熱いものと熱いもの場合はより冷たくなり、冷たいものと冷たいもの場合にはより熱くなるということが現実に生じる。

**修正得点の分析：**そこで CC 課題におけるより熱くなるという反応と HH 課題におけるより冷たくなるという反応を抜き出した。そして、温度変化の度合いをたずねる質問に対して「すこし」あるいは「ちょっと」という回答を正答と見なした修正得点を求めた。その結果が図 2 である<sup>1</sup>。

この修正得点について分散分析を行うと、素得点で得られた課題の主効果は見られず、年齢の主効果のみが有意となった ( $F(5,61)=3.05, p<.05$ )。各年齢における平均得点は、年少児 3.56、年中児 3.77、年長児 3.93、1年生 4.82、2年生 5.1、3年生 5.1 点となる。年齢差についての下位検定を行うと、年少、年中、年長児の間、及び 1, 2, 3 年生の間で差はなく、年少児と 1, 2, 3 年生、年中、年長児と 2, 3 年生の間に有意な差が見られた。また、各課題タイプ 2 題共に正答した子どもの割合は、年少、年中では 30%程度であるのに対して、2, 3 年生では 70%程度となる。したがって、これらの間にははっきりとした差があることがわかる。また年長児と 1 年生がこの 2 つの段階の移行期に当たるとも推測される。

<sup>1</sup> なおこの基準は HH、CC にのみ適用されるので、HC 課題の正答率は変化しない。



正答率の発達的变化

もう一つの重要な点は、図 2 から明らかなように、CC、HH 課題における就学前児の正答率は著しく上昇するということである。この修正による得点の上昇の理論値は約 0.3 点ほどであるが、年少児の HH、年中児の CC、年長児の CC、HH 課題では 0.5 点以上、年少児の CC、年中児の HH 課題では 1 点もの上昇が見られる。また、小学生においても同様の上昇が見られる。修正得点は素得点の 1.5 倍程度になる。

以上のことからすると、容器の変更による液体の温度変化を理解している子どもが少なからず存在することがわかる。このことは、付加課題についての子どものパフォーマンスからも明らかである。幼稚園児では 80%、小学生では 95%の子どもが、容器の変更による温度の変化を正しく予測することが出来ている

誤答分析も行ったが、CC 課題でより冷たくなるという反応が一貫してみられたのは、就学前児で 8.3%、就学児童で 3.2% (1 名のみ)、HH 課題でより熱くなるという一貫した反応は就学前児で 8.3%、就学児童で 12.9%となっている。HH 課題においての小学生の一貫した誤答がやや増えている。理由を分析すると、足し算を行っていると思なされるものが多かった。ただし、全体の数が少ないことからすると、温度についての一貫したモデルに基づいて誤反応をしている被験者の数は少ないことが示唆される。

## 討論

本実験は、混合における温度の変化の理解が発達に伴ってどのように変

化するのかを明らかにすることを目的として行われた。このため、等温の液体の混合、異なる温度の液体の混合を取り上げた6題の課題を幼稚園年少児から、3年生までの各年齢の子どもに実施した。

その結果明らかになったのは、第一に温度の内包性の理解には発達的变化が見られることである。等温の液体の混合であれ、異なる温度のそれであれ、就学前と就学後においてはパフォーマンスにはっきりとした違いがある。前者の正答率は60%程度であるのに対して、後者は80%以上になる(修正得点に基づく)。また、各課題タイプにおける完全正解者も就学前では40%程度であるが、就学後は平均で75%程度となる。この2つの間の移行は年長児と1年生の間に存在することも明らかにされた。

第二の点は、熱の伝導についての子どもの理解である。修正得点は、CC課題における「熱い」とHH課題における「冷たい」という反応において、その程度が少しであるという回答がなされた場合を正答と見なして算出された。この結果、就学前児の等温4課題の得点は素得点の4.5倍、就学児童においても1.5倍となった。

このことは子どもがかなり年少の頃から、熱の伝導についての部分的な知識を獲得し、それを液体の混合において正しく用いていることを示していると思われる。つまり液体が外気に触れたり、異なる温度の物体に接することにより、温度が変化することを正しく理解しているのである。このことは、付加課題の正答率がどの年齢においてもかなり高いことから裏付けることが出来る。

これらの結果は先行研究のそれとは著しい対比をなす。前述したように、液体の混合による温度変化の理解は、10歳を過ぎてからとされており、12歳になっても完全にはならないとしている研究もある(Stavy & Berkowitz, 1980)。一方、本研究では4歳程度においても一定の理解がなされていることが示された。この違いは、第一に小学生を対象とした実験では温度が定量的に与えられているのに対して、本研究ではそれが定性的に与えられたことに起因すると考えられる。一般に幼児の日常生活において温度は定量的に与えられることは少ないと考えられる。したがって、上記の実験においてはなじみの薄い量が用いられることにより、被験者の持つ日常世界での理解の表出が妨げられた可能性がある。第二に、従来の研究では熱伝導についての子どもの正当な理解ゆえに、未発達と見なされてしまった可能性がある。修正得点における上昇や付加課題のパフォーマンスから、かなりの子どもが別容器に移し替えることによる温度変化を正しく予測している。しかし、こうしたsophisticateされた認識は、等温の液体の混合において、実験者の期待と一致しない結果を生みだしてしまったと考えられる。本研究では温度変化の程度を問うことにより、従来誤答とされてきた反応の中から、真の誤答と熱伝導を考慮したための誤答を区別することが出来た。このことが、本研究と従来の研究結果の差につながったと考えられる。

問題となるのは、昨年度の報告との違いである。昨年(鈴木, 1999)では幼児のパフォーマンスは今回の報告よりもかなり高い。この理由は主

に修正得点の算出方法に関係していると思われる。昨年の修正得点の算出は、CC 課題におけるより熱い、HH 課題におけるより冷たいを無条件に正答としたが、今回はその程度を尋ねる質問に対して適切な答え（少し、あるいはちょっと）が出来たもののみを正答として扱った。この基準を付け加えたことにより、正答率が低下したと思われる。

## 謝辞

本実験の実施に当たって、東京工業大学大学院の栗山直子さんの協力を得た。また、昨年の報告において有益なコメントを下された千葉大学稲垣佳世子先生にも感謝する。

## 文献

- Baillargeon, R., Kotovsky, L., Needham, A. (1995) The acquisition of physical knowledge in infancy. In D. Sperber, D. Premack, & A. J. Premack (Eds.) Causal Cognition: A Multidisciplinary Debate. Oxford University Press.
- diSessa, A. A. (1993) Towards an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10, 105 – 225.
- Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (1985) *Children's Ideas in Science*. Open University Press.
- Erickson, G. (1979) Children's conceptions of heat and temperature. *Science Education*, 63, 221 – 230.
- Erickson, G. (1980) Children's conceptions of heat and temperature: A second look. *Science Education*, 64, 323 – 346.
- McCloskey, M., Washburn, A. & Flech, L. (1982) Intuitive physics: The straight-down beliefs. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9, 636 – 649.
- 村山功 (1989) 自然科学の理解. 鈴木宏昭他「教科理解の認知心理学」新曜社
- 塩川英男・鈴木宏昭・村山功 (1987) 「日常的経験が豊かな領域における形式的ルールの学習：静力学のルールの学習」*発達研究* 3 巻 pp.187 - 204
- Spelke, E. S. (1991) Physical knowledge in infancy. In S. Carey and R. Gelman (Eds.) *Epigenesis of Mind: Essays on Biology and Knowledge*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Stavy, R. & Berkowitz, B. (1980) Cognitive Conflicts as a basis for teaching quantitative aspects of the concept of temperature. *Science Education*, 64, 679 – 692.
- 鈴木宏昭 (1999) 幼児における温度の内包性の理解. 文部省科学研究費補助金重点領域研究 115「心の発達：認知的成長の機構」平成 10 年度研究成果報告書（代表：桐谷滋）, 7 - 13.