

幼児における温度の内包性の理解

鈴木 宏昭
青山学院大学文学部

問題

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年以内にかかなりの程度の物理現象を説明する枠組み = 理論を理解していることを明らかにしてきた。子どもは、物体の境界の不可侵性や一体化した運動などの特性については大人と同様の理解をすることが明らかにされている。また、慣性¹や重力についても1歳くらいまでには正しい理解に達することも明らかにされている (Baillargeon, Kotovsky, & Needham, 1995; Spelke, 1991)。

こうした理解はいわば物体および物体の観察可能な運動に関するものである。しかし、人間を取り巻く物理環境はこうしたものだけではない。光(及び影)、電気、磁気、天体、気象など様々な物理現象が我々の生活の中で日常的に生起している。その中には少なくとも現象的には上述の素朴物理理論とは一致しないものもある (Spelke, Phillips, and Woodward, 1995)。また乳児期から原初的な理解がみられる力や慣性についても、その完全な理解には成人になっても到達しないことが明らかにされている (diSessa, 1993; McCloskey et al., 1983)。また、電流のように不可視な物理現象についても事態は同様で大学生においても、その理解は小学生とさして変わらない (鈴木他, 1982)。こうしたことからすると、乳児研究で研究が取り上げなかった複雑な物理現象の理解がいかに達成されるのか (また達成されないのか) を研究し、人間の素朴物理理論の全貌を明らかにする必要があると思われる。

本研究ではこうした中でも特に熱と温度の理解について取り上げる。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個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

¹ ここでの慣性の理解とは、運動する物体は外力が働かない限り突然運動方向を変えることはない、という意味での原初的なレベルの理解である。

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。しかし、だからといって人が経験をただ重ねているわけではなく、その中から独特な説明の枠組みを生成している可能性は高い。たとえば、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。また場合によっては初期の素朴な理論を日常経験や学校教育を通して、より洗練されたものへと改訂している（あるいは改訂を促す）可能性もある。実際、仮説実験授業以外でも、Wiser は小学生を被験者とした実験の中で CAI を用いた教授的介入により、概念変化が生じる可能性を指摘している。

幼児期における熱、温度、燃焼についての素朴理論の自発的生成メカニズムを特定することが筆者の最終目標である。ただし、これらの領域について幼児を対象とした研究はかなり少ない。また、小学生以上を対象とした実験では多くの場合、熱の指標として温度（あるいは温度計）を用いている。しかし、そもそも幼児においては熱の指標となる温度自体の理解がどのようになされているかが明らかではない。もし幼児が温度について大人とは異なる概念を発達させているとすると、熱や燃焼の理解の研究において温度を指標とすることは不適當になってしまう。

そこで、本報告では、就学前の子どもにおける温度の理解について行った予備的な調査を報告する。特にここでは温度の内包量としての性質を子どもがどの程度理解しているかに焦点を当てる。

実験

方法

被験者：都内の保育園の年少（平均月齢 5 0 ヶ月）、年中（平均月齢 6 2 ヶ月）、年長クラス（平均月齢 7 3 ヶ月）各 10 名（男女 5 名ずつ）が実験に参加した。

課題：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。各々のタイプについて、2 題ずつ課題を用意し、計 6 題の課題を実施した。

各課題は 3 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。その後、混ぜた液体と他の液体の温度の比較をさせる。

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。ただし、HH および CC 課題では元の2つの液体の温度が同じ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。

以下、各タイプについて1題ずつ例を挙げる。

● CC タイプ

1. くまさんとパンダ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。くまさんの牛乳もパンダさんの牛乳の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、ぱんだの牛乳を指す）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？

● HC タイプ

1. バーバパパは冷蔵庫から取り出した冷え冷えのミルクをコップに入れました。バーバママはお鍋であっつあつに沸かしたミルクをコップに入れました。
2. そこへバーブラボーがやって来て、「ボクにもミルクを分けてよ。」と言いました。
3. バーバパパとバーバママは自分のミルクをちょっとずつ分けてあげることにしました。
4. クイズね。こっち（パパの）とこっち（混ぜたもの）ではどっちが冷たいかな？それとも同じかな？ じゃあ、こっち（ママの）とこっち（混ぜたもの）ではどっちが熱いかな？それとも同じかな？

● 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. じゃあ、クイズね。3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

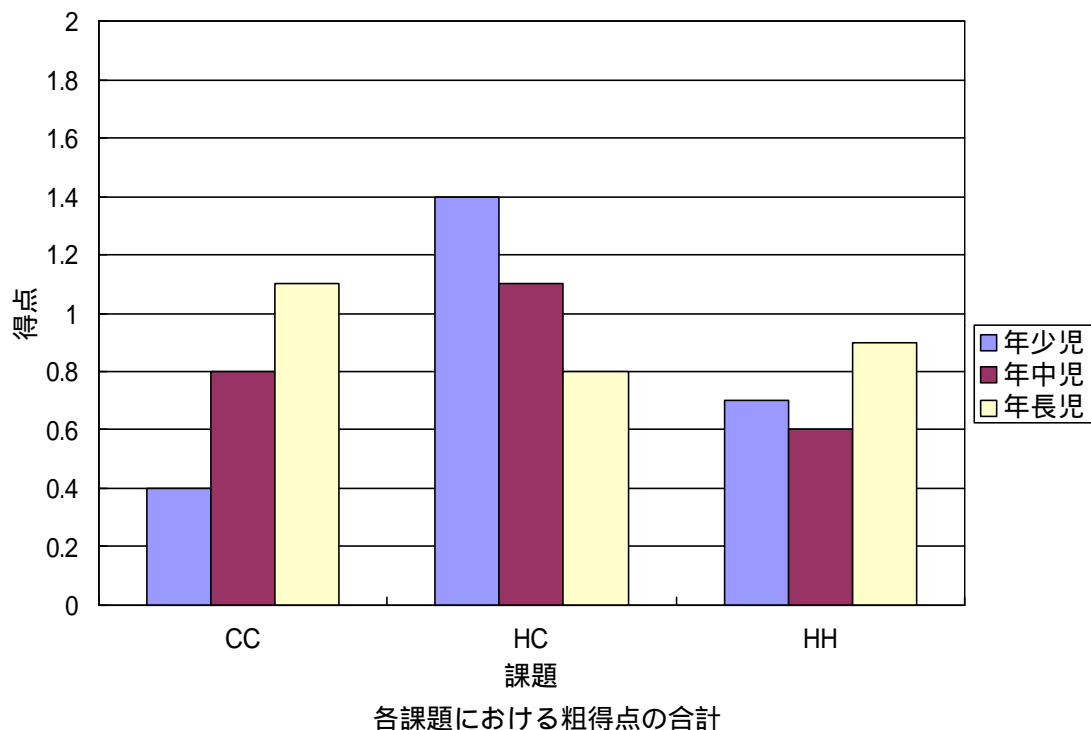
っちが熱いかな？それとも同じかな？

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、1対1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、6課題終了後、別の課題を2題行ったが、今回は報告を行わない。

結果

粗得点の分析

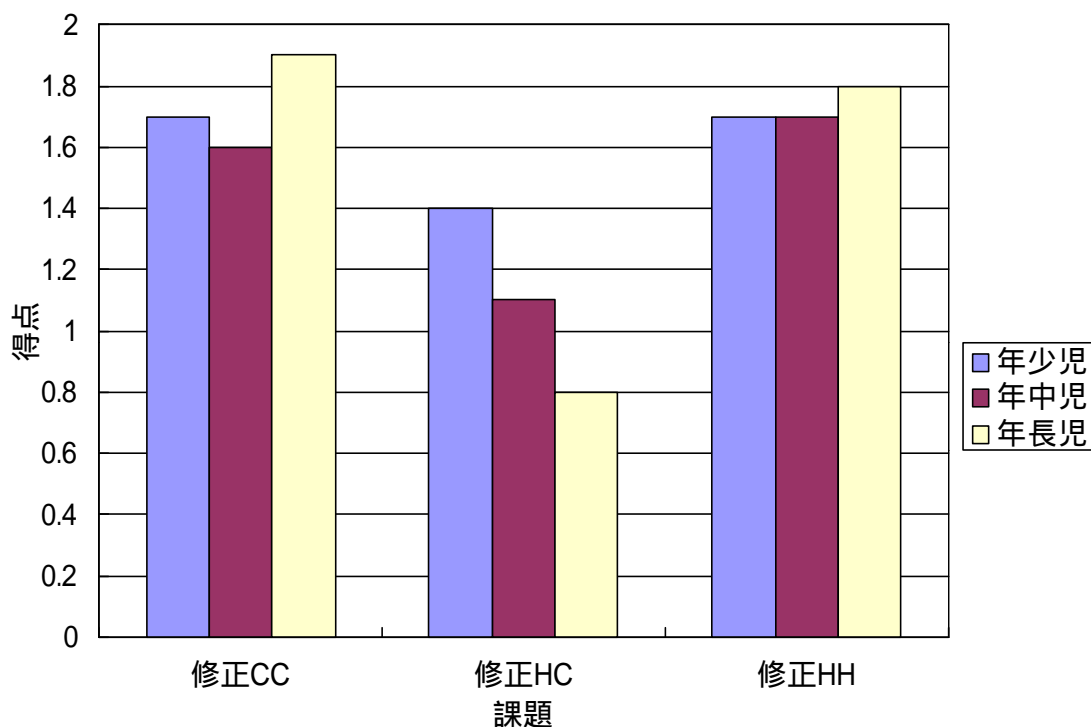
図1はタイプ別に得点を示したものである。なお、得点化に当たってHC課題は2つの質問に正しく答えられた場合のみ正解とした。年齢別に総得点をみると、年少児が2.5、年中児が2.5、年長児が2.8となっている。また、課題別に正答率をみるとCC課題が38%、HC課題が55%、HH課題が37%となっている。2要因の分散分析を行った結果、主効果、交互作用ともに有意ではなかった。この結果をみる限り、いずれの年齢でも正答率が半分以下となっており、就学前の子どもは温度の内包性について正しい理解の段階に至っているとは思われない。



修正得点の分析

しかしながら、被験者の回答を詳細に分析してみると、上記の評定は課題の曖昧さに

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示唆される。たとえば、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



各課題における修正得点

ことが現実に生じる。こうした観点から HH 課題における誤答を分析すると、より熱くなるという回答はどの年齢でも 20%を越えることはない。CC 課題においても同様であり、より冷たくなるというあり得ない答えをしたものは 20%以下であった。こうしたことからすると、誤答とされた大半の回答は現実的に起こりうることに基づいたものではないかと考えられる。

そこで HH 課題におけるより冷たくなるという回答、CC 課題におけるより熱くなるという反応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。年少児はトータルで正答率が 80%、年中児は 73%、年長児は 75%であった。また、課題別にみても CC 課題では各年齢で 1.7、1.6、1.9 点であり、HC 課題では 1.4、1.1、0.8 点、HH 課題では 1.7、1.7、1.8 点であった（各 2 点満点）。2 要因の分散分析を行った結果、課題タイプの主効果のみが有意であった ($F(2, 54) = 12.07, p < 0.01$)。これは HC 課題が他の課題に比べて正答率が低いことに起因する。交互作用は有意ではないが、特に年長児の正答率の低下が顕著である。

ただし、前述したように HC 課題は 2 つの質問に正しく答えることによって正答と見なすという他の課題とは異なった基準を用いている。また実験では混合の容量を明らかに

しなかったため、一方の液体の容量がかなり多ければ混合液体の温度はほぼ等しくなるとも考えられる。そこで、HC 課題のみについて、混合液体の温度がどちらか一方と同じという答えも正答²とする基準を用いて再度分析を行った。すると、いずれの課題タイプにおいても 85%程度の正答率となった。また、分散分析の結果、主効果、交互作用とも有意ではなかった。

これらのことから考えると、たとえ年少児であっても温度の内包性をかなりの程度正しく理解していることがうかがわれる。また、修正得点の分析においてみられた HC 課題の正答率の低さは、課題の本質レベルの無理解を反映したものとはいえないことが示唆される。

考察

以上の結果から、温度の内包性についてはかなり早い段階から大人と同程度の理解がなされていると考えられる。どのような組み合わせで液体を混ぜても、その理解はかなり高い水準にあった。また、年齢差がみられないことから、少なくとも3歳後半までには大人とほぼ同じレベルの理解の水準に達していることがわかる。さらに、採点基準を緩和したことによる正答率の上昇は、年少児であっても、他の容器へ液体を移動させることによる微妙な温度変化までも考慮している可能性が高いことを示唆している。また、このことは今後の研究において、少なくとも温度を定性的に指標として用いることが可能であることを示している³。

この結果を同じ内包量である濃度の理解と比較することは興味深い。鈴木(1984)は小学校高学年児童を対象にして、溶液の混合問題を題材とした研究を行っている。この結果によれば、10歳程度であっても、濃度を加法的にとらえてしまう誤りが数多くみられる。これにくらべて、温度は著しく早くから理解が進んでいることを示している。この理由について直接的に検討する資料はないが、様々な飲み物や入浴時の経験などが関与しているのではないかと思われる。

謝辞

本研究の実施と計画にあたって、青山学院大学文学部 八木裕美子さんの協力を得た。

文献

²ただし、どちらの温度とも同じという回答は誤答とする。つまり一方の温度よりは高い、あるいは低い、そして他方の温度とは等しいという答えのみを正答とする。

³ただし、用いる数値の大きさを考えると温度計の利用は困難であると思われる。

- 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.
- McCloskey, M., Washburn, A. & Flech, L. (1982) Intuitive physics: The straight-down beliefs. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 9, 636 – 649.
- 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.
- Spelke, E. S., Phillips, A. and Woodward, A. L. (1995) Infants knowledge of object motion and human action. In D. Sperber, D. Premack, & A. J. Premack (Eds.) Causal Cognition: A Multidisciplinary Debate. Oxford University Press.
- 鈴木宏昭 (1984) 溶液の混合問題における誤答の起源とその生成プロセス. 東京大学教育学部紀要, 23, 287 – 296.
- 鈴木宏昭・野島久雄・市川奈緒子・服部慈 (1982) 電気回路の問題解決過程の分析. 東京大学教育学部教育方法研究室 東ゼミ報告集, 67 – 86.