

Paper-and-pencil 課題における衝突対象の質量比判断

佐藤 手織*

Relative-mass Judgment in Collision Events on Paper-and-pencil Problems

Taori SATO

Abstracts

The purpose of this study is to examine the relative-mass judgments in collision events on paper-and-pencil tests (S(Static) mode) and to compare them with the ones when animations of the events were displayed to subjects (D(Dynamic) mode) in our previous studies. Our subjects in S mode prefer the heuristic based on recipient's postcollision speed as in D mode, but they also frequently use the one based on post collision speeds of both agent and recipient which was rarely reported in D mode.

These results suggest that the relative-mass judgments in D mode was not affected in top-down way by "conceptual" knowledge accessed in S mode and are specific to "perceptual" situations. This difference of relative-mass judgments between S mode and D mode is presumed to be due to the unavailability of "collision" contexts in S mode.

Keywords: collision events, relative-mass judgment, heuristics, naive physics

背景

2つの物体が衝突する事象を十分に観察した場合、それらの物体の軽重を正確に判断することは可能だろうか？ この問いに対しては、一方ではKSD (Kinematic Specification of Dynamics)理論の立場から肯定的に、他方ではヒューリスティック理論の立場から否定的に、見解が提出されている。前者では、物体の速度等の運動学的 (Kinematic) な情報が観察者にとって十分に利用可能であれば、運動量保存の法則等に則る形で、物体の質量・弾性等の力学的 (Dynamic) な情報が正確に特定される、と主張された (Runeson, 1977; Kaiser & Proffitt, 1984, 1987)¹⁾。後者では、我々の日常経験から派生した一種常識的な方略 (ヒューリスティック) に基づいて力学的判断がなされるが、それが常

に正しいとは限らない、と考えられる (Todd & Warren, 1982; Gildea & Proffitt, 1989; Gildea, 1991)。この二分法的対立を軸として議論が進められる中、当初前者が優勢を占めてきたものの、その後むしろ後者の立場から、第一に力学的判断を導く様々なヒューリスティックを分類し、第二にヒューリスティックの使用にかかわる要因を特定する試みがなされてきた。筆者も同様の立場から、まず第一のステップとして、静止対象 (Recipient) に運動対象 (Agent) が衝突する場合に質量比判断に用いられるヒューリスティックを、先行研究 (Todd & Warren, 1982; Gildea & Proffitt, 1989) に準拠しつつ、以下のように分類した²⁾。

- Agent 方略……衝突後、Agent が跳ね返れば Recipient より軽い。逆に Agent が直進し続けければ、Recipient より重い。
- Recipient 方略……衝突後、Recipient が速く

平成12年10月13日受理

* 総合教育センター・助教

動けば Agent より軽く、ゆっくり動けば Agent より重い。

- Agent/Recipient 方略……衝突後の Agent と Recipient の速度を比較して小さい方が重い。

また、第二の問題については、ヒューリスティックの使用を特定する要因として、実験に使用される衝突事象 (Todd & Warren, 1982; Sato, 1991, 1998) ・注意される対象やその運動属性 (Gilden & Proffitt, 1989; Sato, 1995) ・被験者の年齢や性別 (Sato, 1995; 佐藤, 1997) 等の効果が検討されてきたが、筆者の一連の研究の範囲内では、上記の様々な種類の変数操作にもかかわらず、Recipient 方略の使用が一貫して優勢であることが見出されており、このような Recipient 方略の優位な使用を促す要因を特定することが現段階での主たる課題となっている。

一方、paper-and-pencil の形式 (以下、S-static: 静止一モードと呼ぶ) で与えられた物理学の課題に対し成人が頻繁に示す誤りについて、McCloskey とその同僚による一連の認知心理学的検討が報告されてきた (Caramazza, McCloskey, & Green, 1981; McCloskey, 1983a, b; McCloskey, Caramazza, & Green, 1980; McCloskey & Kohl, 1983; McCloskey, Washburn, & Felch, 1983;)。彼らは、曲がった管の中から飛び出す対象や、移動中の飛行機から落下された対象等の運動についての質問に対する誤答を分析し、それらを基礎づけている被験者の誤った概念を「直観物理学 (intuitive physics)」「素朴物理学 (naive physics)」と命名している³⁾。McCloskey 等はさらに、Sモードの課題で見出された「素朴物理学」的発想が、問題となる事象を実際に知覚した場合 (以下、D-dynamic: 動的一モードと呼ぶ) にも解答者にアクセスされるか否かについて検討し、肯定的な見解を示している (McCloskey & Kohl, 1983; McCloskey, Washburn, & Felch, 1983)

が、Kaiser, Proffitt, & Anderson (1985) は彼らの実験方法の欠点を指摘しつつ、改良されたデザインによる実験を行い、曲がった管から飛び出す対象の軌道について「Dモードにおいてより正答が導かれやすい」との知見を得た。この知見について Kaiser 等は Proffitt & Gilden (1989) が提唱した「運動の複雑さ (motion complexity)」についての区別を援用しつつ、以下のような考察を行っている (Kaiser, Proffitt, Whelan, & Hecht, 1992)。

- ① 事象についての力学的判断は、判断に必要な変数(情報)が一次的である場合と複数の情報から構成されて多次的である場合とがあるが、観察者が実際に多次的な変数を抽出して力学的判断を行うことはない。
- ② 力学的判断に一次元の変数が必要な場合、事象の観察によって運動状態の正確な把握—特に必要な変数の次元(の変化)の的確な認識—が可能であれば、Dモードでの正確な判断が導かれる。
- ③ 一次元の変数で正確な判断が可能な事象でも、複数次元の変数が必要な場合として誤って認識されると、正確な判断は不可能になる (McCloskey 等の初期の研究において、Sモード・Dモードいずれの場合でも、誤った力学的理解(素朴物理学)が示されたのはこの理由による)。

そもそも、事象を実際に知覚する場合と、(一部の絵画的描写を伴ったものを含めて) 事象が文章で説明された場合とで観察者がアクセスする知識・解法が異なることは、別の領域の研究者によっても指摘されており (Piaget, 1969; Freyd, Pantzer, & Cheng, 1988), それぞれの状況でアクセスされる知識・解法は「知覚的 (perceptual)」「概念的 (conceptual)」と区別されている⁴⁾。また一般論として、論理的思考を要する課題が抽象的・形式的なスタイルで出題さ

れた場合と具体的・現実的なスタイルで出題された場合とでは、後者に対する回答の正確さが増すことも報告されている (Johnson-Laird, Legrenzi, & Legrenzi, 1972)。SモードとDモードにおける力学的判断を比較する上記の諸研究 (McCloskey & Kohl, 1983; McCloskey, Washburn, & Felch, 1983; Kaiser, Proffitt, & Anderson, 1985) をこれらの研究の流れに位置づけることができるし、Sモードにおいて日常生活でより馴染みがある (たとえば「ホース中が水が流れる」) 状況に問題を設定することで「慣性」に関する力学的判断がより正確になるとの実験結果も報告されている (Kaiser, Jondies, & Alexander, 1986)。しかし、衝突事象での力学的判断に関しては、衝突の「自然さ」の判断についてSモード・Dモード間でパフォーマンスの比較がなされた例 (Kaiser & Proffitt, 1984) はあるものの、質量比判断に関しては (少なくとも筆者の知る範囲では) ほとんどDモードで検討が行われ (Kaiser & Proffitt, 1984, 1987; Todd & Warren, 1982; Gilden & Proffitt, 1989; Runeson & Vedeler, 1993; Nakamura, 1995) ている。先にも述べたとおり、初期のKSD理論を支持する研究を除けば、常に正答が得られるとは限らないヒューリスティックが使用される、との見解が優勢である点が注目される。この点に関して、Proffitt & Gilden (1989) や Kaiser, Proffitt, Whelan, & Hecht (1992) が、上記の「運動の複雑さ」の議論を衝突事象での力学的判断に適用しつつ展開した説明は以下のように要約される。

- ① 衝突事象での正確な質量比判断は、運動量保存の法則の再定式化から示される通り、多次元的な変数に基づかなくてはならない。
- ② しかし観察者は、一次元の特定の変数 (この場合、運動の方向や速度) に基づく方略—ヒューリスティック—により判断を行う。

- ③ ヒューリスティックは特定の状況においてのみ正確な判断を導き、Dモード (アニメーション) による刺激呈示は、その状況で正確な判断を導く変数への注意を促す場合にのみ有効である (したがって、Dモードでも常に正答が導かれるとは限らない)。

本研究では、従来主としてDモードで検討されてきた衝突事象における質量比判断をSモードで検討し、そのパフォーマンスについての基礎的なデータを得ることを目的とする。この研究の結果は2つの点において、考察すべき意義があると考えられる。第一に、Dモードで見出されたヒューリスティックの選択との関連においてである。Sモードでも、Dモードと同様、もしくはそれ以上にRecipient方略の使用が優勢に認められるのならば、Sモードでアクセスされていると考えられる高次の「概念的」知識が、Dモードでのヒューリスティックの選択に際してトップダウン的に作用しているとの仮説が成り立つ。関連する知見としては、先に述べた、誤った「素朴物理学」的知識が知覚に及ぼす影響を検討した Kaiser, Proffitt, & Anderson (1985) に加えて、① 観察者の「物理学」知識と知覚との関連性 ② SモードとDモード両方での出題がなされた場合の出題順序の効果、についての検討結果が参考になるだろう。①については、被験者間要因としての「物理学」履修経験が知覚に有意に影響する知見が多く報告されている (McCloskey & Kohl, 1983) が、特に Kaiser 等 (1985) は大学での「物理学」履修経験が知覚に強く影響することを示唆している。②についても、さまざまな先行研究 (Kaiser, Proffitt, & Anderson, 1985) で検討が行われてきたが、統計的に有意な効果は見出されず、またどちらかと言えば、Dモードでの知覚経験がSモードのパフォーマンスに及ぼす効果の方に言及がなされてきた。

本実験の結果を考察する第二の意義は、D

モードとSモードとで質量判判断のパフォーマンスに明瞭な違いが見出された場合の、その要因の考察である。先述した「運動の複雑さ」等の要因を考察の中心に据えながら、必要に応じて別の可能性にも言及していきたい。

方 法

・被験者：工科系の大学生 173 名（男性 155 名，女性 18 名）および看護系専門学校生 86 名（全て女性）が実験に参加した。全員が高校時に理科系クラスだったが，高校・大学・専門学校での物理学の履修状況については確認していない。

・刺激：本研究の刺激となる事象群は，基本的には筆者の先行研究（Sato, 1991, 1995；佐藤, 1997）で用いられたもの（もしくはその一部）と同一である。先述したとおり，本論の研究目的は，Sモードで刺激提示された場合の質量判判断をDモードで刺激提示された場合と比較することであるため，刺激をSモード（すなわちペーパーテスト形式）で提示することが先行研究との主要な違いとなる。刺激事象は，弾性係数2種類（ $e=0.1, 0.9$ ）と質量比3種類（ $M_A/M_R=1/2, 2/3, 3/4$ ）の組み合わせにより6種類作成された。Sモードでは，事象における①衝突前②衝突時③衝突後の3場面が①-②，②-③の時間間隔が等しいように描写され，各事象は図1のように1ページ（A4）中に示された。正方形 Agent・Recipient（図1中ではそれぞれA・Bと描写）の一辺の長さおよびXの長さは全ての事象に共通してそれぞれ9mm, 71mm，各事象のY・Zの長さは表1に示すとおりである。6種類の事象それぞれにつき1ページ，計6ページの本課題用紙の前後に，教示と氏名記入欄（1ページ）・練習課題用紙（1ページ）・内省等記入用紙（2ページ）を付加して計10ページの冊子が作成された。6種類の事象の提示順序はランダムサイズされている。

・手続き：実験は，授業時間を利用して集団

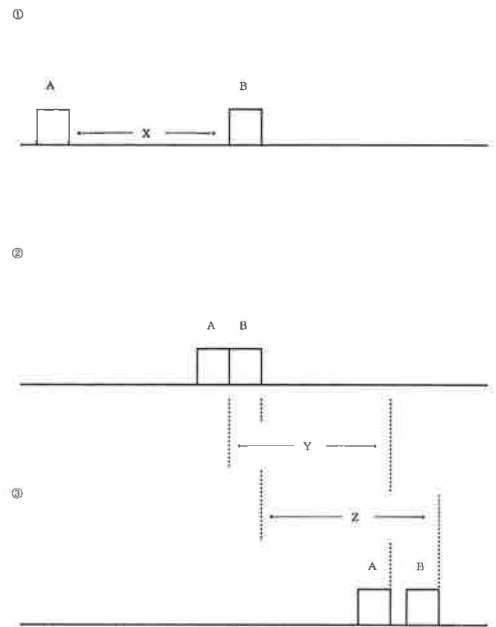


図1 刺激として用いられる衝突事象。
実際に用いられた問題冊子には，点線および矢印（X・Y・Zの文字を含む）の部分は記載されない。

表1 刺激事象のY・Zの長さ（単位はmm）

$e \backslash M_A/M_R$	1/2	2/3	3/4
0.1	Y=20 Z=27	24 31	27 34
0.9	-20 45	-11 54	-6 59

※ X は，71 mm で一定。

※ 数字の符号が負の場合，運動方向は左。

施行形式で行われた。各被験者に上記の冊子が一冊ずつ配布され，表紙に記述された以下のような教示が実験者により読み上げられた。

「これからご覧いただく冊子には，正方形 A (Agent) と B (Recipient) が衝突する前後の様子が①②③の図に描かれています。次のページの(例)をご覧ください。①は正方形 A が静止している正方形 B に向かって接近しているところ，②は正方形 A が正方形 B に衝突

したところ、③は衝突の後で正方形AとBが動いているところです。次のページから、全部で6種類の衝突がありますが、①②の部分は共通で、③の図だけが異なっています。①から②までの経過時間と、②から③までの経過時間は同じです。

衝突を①から③まで通してみた場合、正方形Aと正方形Bのどちらがより重く見えるでしょうか？ それぞれのページの③の正方形A・Bのうち、重く見える方の正方形を○で囲んでください。この場合、正方形A・Bと床の摩擦や、空気抵抗などは考慮に入れる必要はありません。理屈であまり深く考え込まないで、自分が見た印象で判断してください。(例)で練習してみて、その次のページからの6種類の衝突についても同様に、正方形A・Bのどちらが重いかを判断してください。重さの判断が終わったら、判断の理由についての質問のページがありますのでお答えください。」(下線部は課題用紙に記入されていない)

被験者は教示にしたがい、練習1試行を終えた後、本試行として、6種類の衝突事象について「重さ」判断を行う。課題の遂行は被験者個々人のペースに任された。「重さ」判断が終了した後、「A・Bどちらが重いかについて、どのような基準で判断したか」についての自由記述や、「①-②、②-③の間の運動状況をイメージにより補完したか?」「運動量保存の法則を想起したか、また想起した場合、実際に判断に活用したか?」等の質問に対する回答を冊子中の所定の箇所に記入するよう求められた。

予 測

本研究で用いられた刺激事象の変数は、被験者が使用したヒュースティックによって判断のパフォーマンスパターンが異なるように操作されている。Agent方略、Recipient方略、Agent/Recipient方略をそれぞれ使用した場合の判断のパフォーマンスの予測は図2に示す通

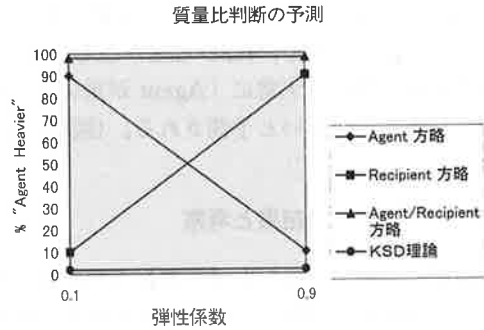


図2 KSD理論およびAgent-, Recipient-, Agent/Recipient方略が本研究の実験課題に適用された場合の力学的判断パフォーマンスの予測。

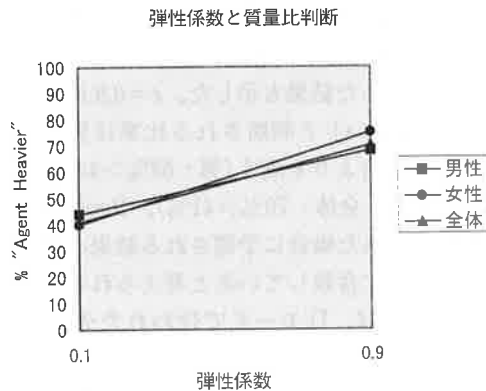


図3 実験の結果。質量比の異なる3種類の事象についてのPercent "Agent Heavier"の平均値を算出し、弾性係数の関数としてプロットした。図2の予測との比較のために作成。

りである。すなわち、弾性係数が0.9の場合にはAgentが衝突後跳ね返る($Y < 0$)のでAgent方略が使用されれば「Agentが重い」とする判断の頻度が低くなると予測されるが、一方では、衝突後のRecipientの速度(Z の値に対応)は弾性係数0.9の時の方が大きいのでRecipient方略が使用されれば「Agentが重い」とする判断の頻度が高くなると予測される。また、衝突後のRecipientの速度は、弾性係数に関わりなくAgentの速度よりも大きい($Y < Z$)ので、Agent/Recipient方略が使用されれば常に「Agentが重い」と判断されると予測される。因

みに、この実験の衝突事象における M_A/M_R は常に1より小さいので、KSD理論が正しければ、弾性係数に関わらず常に「Agentが重い」と判断される頻度が低いと予測される。(図2)

結果と考察

最初に、図2で示した【予測】との比較のために、「Agentが重い」と判断される比率を弾性係数毎に平均化した結果を図3に示す。成人を対象とした「素朴物理学」の研究では、有意な性差一概して、男性の方が女性よりも物理学的に正確な判断をする一がたびたび報告されている (McCloskey & Kohl, 1983; Kaiser, Proffitt, & Anderson, 1985) ので、全体のみならず男女別々に集計した結果も示した。 $e=0.9$ の場合に「Agentが重い」と判断される比率は男女とも $e=0.1$ の場合よりも高く(男: $68\% > 44\%$, 女: $74\% > 39\%$, 全体: $70\% > 41\%$)、Recipient 方略が使用された場合に予測される結果パターン(図2参照)に合致していると考えられる。この点に関しては、Dモードで行われた先行研究 (Sato, 1991, 1995) と同様の結果がSモードでも得られたと言えるが、Dモードにおけるパフォーマンスと詳細に比較すると、特に $e=0.1$ の場合の比率はSモードにおいて高い ($41\% > 28\%$)。したがって、本論のSモードでの実験結果はRecipient 方略の優位性を一概に示すものではないと考えられるので、被験者の個人データをパフォーマンスパターンについて検討することとした。 $e=0.1$ の場合と $e=0.9$ の場合にそれぞれ、質量比に対応して設定されている3種類の事象のうち過半(2, 3)の事象で「重い」と判断された対象 (Agent (A) か Recipient (R)) の組み合わせによって、被験者個人を (A-A)・(A-R)・(R-A)・(R-R) の4タイプに分類した。これらのタイプの前3者はそれぞれ、Agent/Recipient 方略・Agent 方略・Recipient 方略が使用された場合の、そして最後の (R-R) タイプはKSD理論が適用可能な場合のパ

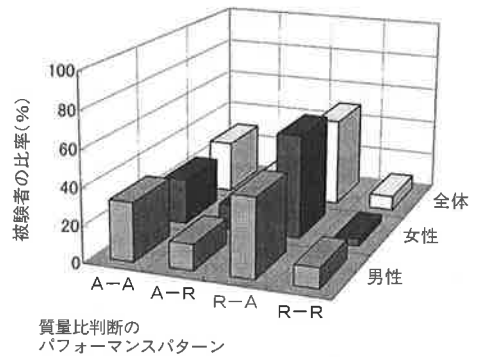


図4 実験の結果。質量比判断のパフォーマンスパターンにより分類された被験者の比率を示す。

フォーマンスに対応している(図2参照)。各タイプに対応する被験者の比率を男女別に、および全体として示したのが図4である。この分布パターンに性差は見出されず ($\chi^2(3)=7, p > .05$)、(R-A) タイプが最も被験者の比率が高く、以下 (A-A)、(A-R) と続くのが全体的な傾向となっている。Dモードで行われた先行研究 (Sato, 1991, 1995) と比較すると、以下のような特徴が要約される。

- ① Dモードと同様、(R-R) タイプはほとんど見られない(6%)。
- ② Dモードの場合と同様、SモードでもRecipient 方略の最も優勢な使用がうかがわれるが、それを示唆する (R-A) タイプの比率は50%に過ぎない。
- ③ DモードではAgent 方略の使用がRecipient 方略の使用に次ぐと考えられたが、Sモードではむしろ、Dモードではほとんど報告されなかったAgent/Recipient 方略の使用を示唆する (A-A) タイプの比率(30%)が (R-A) タイプに次いで高い。

①の特徴からは、Sモードにおいても、Dモードと同様に、KSD理論によるパフォーマンスの説明ができず、何らかのヒューリスティッ

クが使用されたことが示唆される。②の特徴からは、Dモードでの Recipient 方略の顕著な使用は、Sモードでアクセスされると考えられる「概念」からトップダウン的に導かれるのではなく、むしろ「知覚」状況に特異的な特徴である、と推測される。③の特徴は、力学的法則等の理論的枠組みから考察すると興味深い。ヒューリスティック理論を支持する初期の研究 (Todd & Warren, 1982; Gilden & Proffitt, 1989) においては Agent/Recipient 方略の優位な使用が認められてきたが、Recipient 方略では「Agent により、Recipient がどの程度動きかされるか」と表されるように Agent と Recipient の衝突を前提とするのに対し、Agent/Recipient 方略では「衝突」の文脈を考慮に容れる必要がないことから、衝突前の情報の必要性について議論がなされてきた (Gilden & Proffitt, 1989; Runeson & Vedeler, 1993; Nakamura, 1995)。少なくとも論理的には、Runeson & Vedeler (1993) も指摘するとおり、衝突前の情報が質量比判断に必要であり、したがって Agent/Recipient 方略にはその意味での正当性はない。また、力学的法則の観点からも、図1のような事象においては、Agent/Recipient 方略が他の方略よりも誤った判断を導きやすいことが示されている (Sato, 1998)。上記のような理論的前提に反して、Sモードでの Agent/Recipient 方略の使用がDモードと比較してはるかに優勢となったのは、どのような要因によると考えられるだろうか？

第一の有力な理由づけとしては、Dモードと比較すると、Sモードにおける「事象」としての連続性が観察者にとって認識困難である、との見方ができる。Kaiser 等 (1992) は、力学的判断を行う上でのDモードの利点として、連続的な運動状態がアニメーションとして呈示されることで、判断に必要な変数の次元数の変化にも速やかに対応できることも含めて、情報が十分に利用可能な状態で与えられることを挙げている。特に前者の利点は、Kaiser 等は「時間的分

節 (temporal segmentation)」という用語を用いて説明を進めているものの、結局は問題状況が「事象」として認識されることで時間的に連続した文脈の中での判断が促されることにつながると考えられる。一方、図1に示すようなSモードにおいては、①②③の間での Agent や Recipient の位置変化が質量比判断に必要なかつ十分な情報として利用可能であるが、①②③の継時呈示により各局面が「事象」として統合されないことにより、②③の間の部分的な時間局面での位置変化の情報のみに基づいて Agent/Recipient 方略が選択されたとも考えられる。しかし、Dモードで優勢な Recipient 方略にしても、主要な情報が②③の局面に属する点は共通である。したがって、Sモードにおいて「事象」としての連続性が認識困難であるとしても、Agent/Recipient 方略の使用が導かれるのは時間的に限局された情報しか利用できないからというよりは、むしろ「事象」を特徴づける「衝突」の文脈が判断に利用されないことによると考えられる (Dモードでは、「衝突」の文脈を考慮に容れた「Agent に衝突されて」という前提からの帰結として、「Recipient がどの程度動くか」を判断基準とする Recipient 方略が用いられると考えられる)。

第二の問題は、Agent/Recipient 方略と Recipient 方略とでは、「衝突」の文脈の利用の有無のみならず、注目される対象が異なることである。前者では Agent と Recipient 両方の対象が注視されているのに対し、後者では Recipient のみが注視されているが、概してDモードでは、Recipient 方略と Agent 方略の使用が優勢であることから示唆されるように、一方の対象に注意が集中しやすいと考えられる。約言すれば、Dモードでは時間的に連続した文脈において空間的に分節された情報を利用するのに対し、Sモードでは時間的に分節された一局面において空間的には比較的限局されない情報を利用すると言えよう。

第三に問題となるのは、被験者の反応の多様

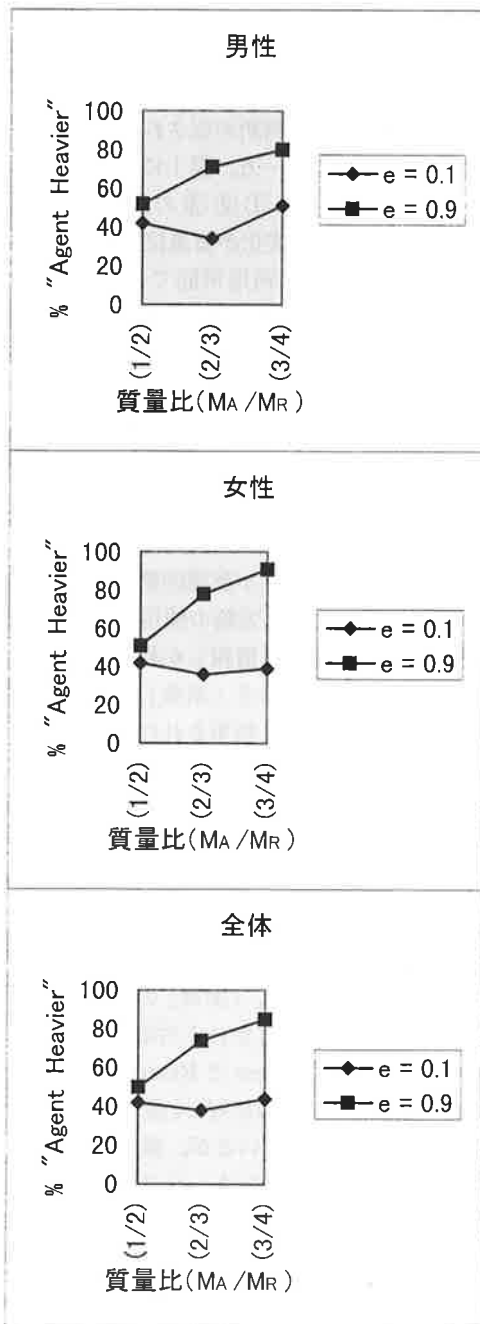


図5 実験の結果。質量比の関数としての Percent "Agent Heavier" を弾性係数別にプロットした。

化への意識である。本研究の実験変数の設定では、Recipient 方略からは「Agent が重い」とする反応と「Recipient が重い」とする反応が同じ頻度で導かれると予測されるが、Agent/Recipient 方略では「Agent が重い」とする反応に大きく偏ると予測される(図2参照)。被験者が反応を多様化させようとする意識傾向を持つことの可能性は以前にも指摘された (Sato, 1991, 1995) が、呈示のモードによりこの傾向の現れ方が異なり、S モードでの被験者は、D モードほど「反応の多様化」を意識しないのかもしれない、とも考えられる。

また、筆者の一連の研究(1991, 1995, 1998)においてはDモードでRecipient方略の使用が優勢だったが、Todd & Warren (1982) や Gilden & Proffitt (1989) 等の研究では Agent/Recipient 方略の優勢な使用が報告されていたことを確認しておきたい。本研究の結果からは、Sモードにおいて Agent/Recipient 方略の使用頻度が高まることを見出される一方で、彼らの実験ではSモードでのパフォーマンスの検討がなされていないが、彼らの被験者においては、文化・教育を背景とした認知スタイル等の特性により、本来Sモードでアクセスされやすい概念的知識や思考様式が、Dモードにおいてもトップダウン的に作用している可能性が考えられる。

次に、質量比と弾性係数の組み合わせによる6つの衝突事象に対する質量比判断を、「Agent が重い」と判断される比率を指標として図5に示す。男女とも、弾性係数 $e=0.9$ の場合に質量比の効果が有意であった。この結果に関しては、筆者がDモードで実施した先行研究 (Sato, 1991, 1995) での解釈が適用可能と考えられる。すなわち、被験者のパフォーマンスは全般的にはRecipient方略の使用を反映している ($e=0.9$ の場合、 $e=0.1$ の場合より「Agent が重い」と判断される比率が高いので)と考えられるが、弾性係数 $e=0.9$ の場合には質量比が大きいほど衝突後のAgentの「跳ね返り」が大きく (表1

における負の符号のついた Y の値を参照), それを観察者の注意を引く (salient な) 情報となるために, Agent 方略の使用も促された (Gilden & Proffitt, 1989) 結果と考察される。

・運動イメージの効果

この要因については, S モードの課題において事象の進行をイメージするよう教示した場合でも, 観察者のパフォーマンスは通常の S モードでのパフォーマンスと変わらないことが報告されている (Kaiser, Proffitt, & Anderson, 1985)。この結果は, 観察者にとって, 事象の正確なイメージを喚起し, それによって有効な運動情報を抽出することが困難であるため, と解釈された (Kaiser, Proffitt, & Anderson, 1985; Kaiser, Proffitt, Whelan, & Hecht, 1992)。本研究では, 実験中に被験者が事象の進行を自発的にイメージしたか否かを内省で確認した結果, ほとんどの被験者から肯定的な回答 (男性 83%: 128/155, 女性 95%: 99/104) が得られた。したがって, 先行研究でイメージの教示が無効だったという結果は, 事象の進行イメージが喚起できないためではなく, むしろ, 喚起されたイメージが不正確・不明瞭で, D モードにおけるように有効な運動情報にアクセスできないためと考えられる。また, 自発的なイメージを報告する頻度は, 男性よりも女性の方が有意に高いとの結果が得られた ($\chi^2(1) = 9.14, p < .01$)。この点については, 今後の検討課題とした。

・質量比判断に使用された方略に関する内省

課題遂行後に自由記述形式で求められた「質量比の判断基準」についての内省により, パフォーマンスパターンが (A—A)・(R—A) タイプである被験者が, 実際に Agent/Recipient 方略・Recipient 方略を使用しているかどうかを検討する。

(A—A) タイプ (65 名) の被験者の判断基準

は以下の 4 つのカテゴリーに分類された。

- ① Agent と Recipient の衝突後の移動距離比較 (35 名: 54%)
「Agent と Recipient のうち, 衝突後の移動距離が大きい方が軽い」
- ② Agent による Recipient の起動 (7 名: 11%)
「Agent に押されて Recipient が動いているから」
- ③ Agent 方略や Recipient 方略もしくはその混合 (8 名: 12%)
- ④ 分類不能 (無記入を含む) (15 名: 23%)
「距離で」等

Agent/Recipient 方略に対応する内省①の報告者 (35 名) は (A—A) タイプの被験者全体の 54% で, ④「分類不能」の被験者を除いた場合には 70% (35/50) を占める。②の内省は, 先行研究 (佐藤, 1997) で (A—A) タイプに分類された就学前幼児の一部から報告された内省と共通する。

(R—A) タイプ (108 名) の被験者の判断基準は以下の 5 つのカテゴリーに分類された。

- ① Recipient の衝突後の移動距離 (23 名: 21%)
「衝突後, Recipient の移動距離が大きければ軽く, 小さければ重い」
- ② Agent と Recipient の衝突後の移動方向の関係 (8 名: 7%)
「衝突後, Agent と Recipient が同じ方向 (右) に動けば Recipient が重く, 逆方向 (Agent は左, Recipient は右) に動けば Agent が重い」
- ③ Agent と Recipient の間の衝突後の距離 (28 名: 26%)
「衝突後, Agent と Recipient の間の距離が大きければ Agent が重く, 小さければ Recipient が重い」

- ④ Agent と Recipient の衝突後の移動距離比較 (21名: 19%)
「Agent と Recipient のうち、衝突後の移動距離が大きい方が軽い」
- ⑤ 分類不能(無記入を含む) (28名: 26%)
「距離で」等

Recipient 方略に対応する内省①の報告者(23名)は(R-A)タイプの被験者全体の21%で、Recipient 方略の使用に関連すると考えられる内省②③の被験者(36名)を加えると全体の54%を占める(③の内省は、Agent を基準とするRecipientの相対的な移動距離に基づいたRecipient方略の報告と考えられる)。また、⑤「分類不能」の被験者を除けば、①②③の被験者の合計は74%(59/80)である。

これらの知見を総合すると、(A-A)、(R-A)いずれのタイプの被験者群においても、その判断のパフォーマンスを導くと予測されたAgent/Recipient方略、Recipient方略の使用を内省報告する被験者は54%(内省報告が「分類不能」である被験者を除いた場合には70~75%)で、就学前幼児を対象とした先行研究(佐藤, 1997)で指摘されたのと同様に、被験者の力学的判断のパフォーマンスと内省報告は必ずしも対応していない。

理由として考えられる第1点は、今回の実験における被験者の動機づけが低かったことが挙げられる。(A-A)、(R-A)タイプにおいて「分類不能」な内省を報告した被験者が25%程度もいたことから示されるように、被験者の

課題に対する動機づけは全体的に高かったとは言い難く、この点が不正確な内省報告を導く要因になったと考えられる。

第2点に、被験者の動機づけ等に関わらず、被験者の実際の力学的判断のパフォーマンスとそれに関する本人の主観的内省は必ずしも対応しないことが考えられる。衝突事象研究の文脈においてGilden(1991)は「内省報告は知覚プロセスの性質を示すものではない(p.556, 筆者訳)」ことを指摘しているが、佐藤(1997)がデカラージュの可能性を示唆した幼児のみならず、成人についてもこの指摘が有効であるとも考えられる。

第3点は、内省で様々な方略の使用が報告されているが、それらは(「分類不能」なものを除けば)実際の判断のパフォーマンスを導いているという点で基本的には正確であるとの仮定を前提とする。この仮定においては、(A-A)、(R-A)タイプそれぞれの被験者から、本来そのパフォーマンスを導くと予測されない方略(前者では③Agent方略やRecipient方略、後者では④Agent/Recipient方略)の使用が内省報告されている点が問題となるが、被験者によって方略の使用法が異なる等の理由により、内省で報告されている通りの方略に基づいて判断がなされているにもかかわらず【予測】で示された以外のパフォーマンスが導かれている可能性がある。たとえば、Agent/Recipient方略を用いる被験者において「反応を多様化させる傾向」が強ければ、一貫して「Agentが重い」とは判断せずに、AgentとRecipientの速度差が

表2 運動量保存の法則と想起と判断パフォーマンスのタイプ

タイプ	A-A	A-R	R-A	R-R	計
想起	10名 (22%)	8名 (18%)	22名 (49%)	5名 (11%)	45名
非想起	63名 (31%)	27名 (13%)	101名 (49%)	15名 (7%)	206名
計	73名 (29%)	35名 (14%)	123名 (49%)	20名 (8%)	251名

小さい $e=0.1$ の事象で「Recipient が重い」と判断することによって、(R-A) パターンのパフォーマンスが導かれるとも考えられよう。この点については、今後の検討課題としたい。

次に「運動量保存の法則」の想起の状況について検討する。課題遂行中に運動量保存の法則を想起したことを内省報告した被験者は、男性 34 名・女性 11 名の計 45 名で、全体に占める割合は、男性が 22% (34/155)・女性が 11% (11/104) となっている。ただし、女性被験者のうち、工科系大学生では報告率が 22% (4/18) となっていて男性のデータとほとんど変わらず、これらのデータを除いた看護専門学校生の報告率は 8% (7/86) である。男性被験者が全て工科系大学生であったことから、上記の性別による報告率の差は、本来の性差ではなく、学校での専攻に起因すると考えられる。また、運動量保存の法則の想起した群・しない群それぞれにおける被験者を、力学的判断のパフォーマンスパターンによって分類した結果を表 2 に示す。統計的検定の結果、パフォーマンスパターンの分布について両群間に有意な差は見られなかった ($\chi^2(3)=2.26, p>.05$)。したがって、学校の授業で習う物理学的知識が力学的判断に影響する可能性は支持されなかった。

総 括

本研究では、衝突事象での質量比判断の課題を paper-and-pencil 形式 (S モード) で呈示し、アニメーション (D モード) で課題呈示した場合とパフォーマンスの比較検討を行うことを目的とした。衝突後の Recipient の速度に基づいた方略が優位に用いられた点は D モードと同様であったが、それ以外にも衝突後の Agent と Recipient の速度比較に基づいた方略の使用が S モードでは多かった。この結果は、D モードでのパフォーマンスは、S モードでアクセスされると考えられる高次の「概念的」知識からトップダウン的に作用されるのではなく、「知覚的」

状況に特異的であることを示すと解釈された。また、S モードと D モードでのパフォーマンスの違いは、特に S モードにおいて、力学的判断を行う上で「衝突」文脈の活用性が低いことに起因すると考察された。

注

- 1) KSD 理論を他の運動 (たとえば挙重動作) 視に適用して実験的検討を行った研究として Runeson & Frykholm (1981) 等がある。
- 2) Todd & Warren (1982) の提出した 3 つの方略—Initial/Final Speed Hypothesis, Final Speed Hypothesis, Direction Hypothesis—はそれぞれ Recipient 方略, Agent/Recipient 方略, Agent 方略に、また Gilden & Proffitt (1989) の velocity heuristic, angle heuristic はそれぞれ Agent/Recipient 方略, Agent 方略に対応すると考えられる。
- 3) タイトルに “Intuitive Physics” の術語が用いられている論文には、「落下対象の軌道」を扱った研究 (McCloskey, Washburn, & Felch, 1983) や「落下対象の軌道」「管から飛び出す対象の軌道」両方を扱った研究 (McCloskey, 1983a) がある。一方、タイトルに “Naive Physics (—belief, theory)” の術語を用いた論文としては、「管から飛び出す対象の軌道」を扱った研究 (McCloskey, Caramazza, & Green, 1980; McCloskey & Kohl, 1983) や「落下対象の軌道」を扱った研究 (Caramazza, McCloskey, & Green, 1981) に加えて、両方を扱った研究 (McCloskey, 1983b) もある。したがって、“Intuitive Physics” “Naive Physics” の術語と扱われている課題の対応は、それ程厳密なものではないと考えられる。本論文では、“Naive Physics (素朴物理学)” の術語で統一する。
- 4) Kaiser, Proffitt, & Anderson (1985) は、同様の区別を「perceptual competence (知覚的能力)」「representational competence (表象的能力)」と表現している。

REFERENCES

- Caramazza, A., McCloskey, M., & Green, B. 1981 Naive beliefs in “sophisticated” subjects: Misconceptions about trajectories of objects. *Cognition*, 9, 117-123.
- Freyd, J.J., Pantzer, T.M., & Cheng, J.L. 1988

- Representing statics as forces in equilibrium. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117, 395-407.
- Gilden, D.L. 1991 On the origins of dynamical awareness. *Psychological Review*, 87, 554-568.
- Gilden, D.L. & Proffitt, D.R. 1989 Understanding collision dynamics. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 372-383.
- Johnson-Laird, P.N., Legrenzi, P., & Legrenzi, M. S. 1972 Reasoning and a sense of reality. *British Journal of Psychology*, 63, 395-400.
- Kaiser, M.K., Jondies, J., & Alexander, J. 1986 Intuitive reasoning about abstract and familiar physics problems. *Memory & Cognition*, 14, 308-312.
- Kaiser, M.K., Proffitt, D.L., & Anderson, K.A. 1985 Judgments of natural and anomalous trajectories in the presence and absence of motion. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 11, 795-803.
- Kaiser, M.K. & Proffitt, D.R. 1984 The development of sensitivity to causally relevant dynamic information. *Child Development*, 55, 1614-1624.
- Kaiser, M.K. & Proffitt, D.R. 1987 Observers' sensitivity to dynamic anomalies in collisions. *Perception & Psychophysics*, 42, 275-280.
- McCloskey, M. 1983a Intuitive physics. *Scientific American*, 248, 114-122.
- McCloskey, M. 1983b Naive theories of motion. In D. Gentner & A.L. Stevens (Eds.) *Mental models* (pp. 299-324). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- McCloskey, M., Caramazza, A., & Green, B. 1980 Curvilinear motion in the absence of external forces: Naive beliefs about the motion of objects. *Science*, 210, 1139-1141.
- McCloskey, M. & Kohl, D. 1983 Naive physics: The curvilinear ineptus principle and its role in interactions with moving objects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9, 146-156.
- McCloskey, M., Washburn, A., & Felch, L. 1983 Intuitive physics: The straight-down belief and its origin. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9, 636-649.
- Piaget, J. 1969 *The mechanism of perception*. London: Routledge and Kegan Paul. (cited by Kaiser, Proffitt, & Anderson, 1985)
- Proffitt, D.R. & Gilden, D.L. 1989 Understanding natural dynamics. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 384-393.
- Runeson, S. 1977 Visual perception of dynamic events. Unpublished doctoral dissertation, University of Uppsala, Sweden. (cited by Gilden & Proffitt, 1989)
- Runeson, S., & Frykholm, G. 1981 Visual perception of lifted weight. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7, 733-740.
- Runeson, S. & Vedeler, D. 1993 The indispensability of precollision kinematics in the visual perception of relative mass. *Perception & Psychophysics*, 53, 617-632.
- Sato, T. 1991 Judgment of relative mass in collision events: On accessibility and utility of direction-based heuristic. *Tohoku Psychologica Folia*, 50, 92-100.
- Sato, T. 1995 On the effects of attention to agent/recipient in collision events on the use of heuristics for relative-mass judgments. *Tohoku Psychologica Folia*, 54, 39-52.
- Sato, T. 1998 On dynamic validity of heuristics used in relative-mass judgment in collision events. *Tohoku Psychologica Folia*, 57, 37-45.
- 佐藤手織 1997 衝突事象における質量比判断の方略の発達の变化 八戸工業大学紀要, 16, 243-258.
- Todd, J.T. & Warren, W.H. 1982 Visual perception of relative mass in dynamic events. *Perception*, 11, 325-335.