

衝突事象における質量比判断の方略の力学的妥当性 (2)

佐藤手織*

On Dynamic Validity of Heuristics Used in Relative-Mass Judgment in Collision Events. II

Taori SATO

Abstracts

This study dealt with the problem of the selection of heuristics for relative-mass judgments when the animations of collision events where one object is stationary before collision were displayed. Two experiments were carried out to examine (1) its dynamic validity in terms of the law of momentum conservation, and (2) the top-down way influence on it by the knowledge accessed in pencil-and-paper problems.

The results of both were negative. Therefore, The necessity of future research from the other—for example, phenomenological-standpoint was suggested.

Key words: collision events, relative-mass judgment, heuristics, dynamic validity, animation, pencil-and-paper problem

背景

筆者はこれまでに、運動対象 (Agent) が静止対象 (Recipient) に衝突する事象 (図1参照) を動画で呈示した場合 (以下 D-Dynamic-モードと呼ぶ) に Agent と Recipient との質量比判断に用いられるヒューリスティックを、以下の3種類に分類してきた (Sato, 1991, 1995; 以下、筆者の研究の文脈においては、ヒューリスティックの代わりに「方略」の用語を用いる)。

Agent 方略……衝突後の Agent の速度 (V_A) が衝突前 (U_A) と同方向であれば、Agent の方が重い。 V_A が U_A と逆方向である (Agent が衝突後跳ね返る) 場合、Agent の方が軽い。

Recipient 方略……衝突後の Recipient の速度 (V_R) が大きければ、Recipient の方が軽

く、 V_R が小さければ Recipient の方が重い。

Agent/Recipient 方略……衝突後の Agent と Recipient の速度 (V_A , V_R) を比較し、大きい方が軽い。

筆者の一連の研究 (Sato, 1991, 1995, 佐藤, 1997) では、様々な変数の操作にもかかわらず、Dモードにおける Recipient 方略の優位な使用が一貫して認められており、その選択要因の特定が現状での課題となっている。本研究では、① 方略選択の力学的妥当性、および ② 静止画を用いたペーパーテスト (以下 S-Static-モードと呼ぶ) においてアクセスされた概念的知識が方略選択にトップダウン的に影響する可能性について検討する。

まず①について背景を概観する。従来、Dモードにおける衝突事象での質量比判断については、(1) 必要な運動学的 (kinematic) 情報が十分に利用可能であれば、質量や弾性等の力学

平成 13 年 12 月 21 日受理

* 総合教育センター・助教授

的(dynamic)特性は、運動量保存等の力学法則に則る形で正確に特定される、とするKSD (Kinematic Specification of Dynamics) 理論 (Runeson, 1977; Kaiser & Proffitt, 1984, 1987) と、(2) 常に正確とは限らないが、事象の断片的な情報を手がかりとしながら、日常経験から派生したヒューリスティックによる(速度の点では効率的な)判断がなされる、とするヒューリスティック理論 (Todd & Warren, 1982; Gilden & Proffitt, 1989, Gilden, 1991) とが、観察者の判断の正確さを論拠として、相互排他的な対立構図を呈してきた。上記のような、KSD理論に対する一種無謬論的な扱いについては、Gilden (1991) や Runeson & Vedeler (1993) が懸念を表明しているが、ヒューリスティック理論との関連づけ・両立を可能にするまでには議論は及んでいない。筆者の一連の研究はヒューリスティック理論の立場からなされてきたが、ヒューリスティックの選択に力学的な観点からの妥当性が認められる可能性についても検討を試みている (Sato, 1998)。先に述べた3種の方略については、各々が正確な質量比判断を導く弾性係数・質量比の条件を、力学法則によって特定することが可能である。例えば、Agent/Recipient 方略は他の2種の方略よりも誤判断を導く可能性が高く、Agent 方略・Recipient 方略はそれぞれ $M_A > M_R$ ・ $M_A < M_R$ ($M_A \cdot M_R$ は Agent・Recipient の質量) の場合のみ正答を導く。この関係が観察者の実際の判断に反映されるか—すなわち、状況に応じて、力学的に最も正答を導く方略が使用されるか—についての実験的検討では否定的な結果が得られており、この点に関しては、方略の選択が力学的関係に裏づけられている可能性は認められなかった。本論文の実験1では、方略の選択に別の力学的妥当性—各方略で手がかりとされる情報と質量比との関数関係による裏づけ—が認められる可能性について検討する。

また、②については、McCloskey 等による「素朴物理学 (naive physics)」 「直観物理学

(intuitive physics)」の一連の研究および Kaiser 等の一連の研究において、物理学的判断のパフォーマンスをSモードとDモードの間で比較する試みが行われてきた (McCloskey & Kohl, 1983; McCloskey, Washburn, & Felch, 1983; Kaiser & Proffitt, 1984; Kaiser, Proffitt, & Anderson, 1985)¹。大まかに分類すると、McCloskey 等の研究はSモードでの判断についての関心に端を発し、SモードとDモードでの判断の類似性および前者の判断が後者の経験に由来すること、を強調するのに対し、Kaiser 等はその逆—Dモードでの知覚的判断に主な関心があり、両モード間の判断の相違を強調する—であると言える。これらの研究で扱われた課題は、前後の関連研究 (Caramazza, McCloskey, & Green, 1981; McCloskey, 1983a, b; McCloskey, Caramazza, & Green, 1980) も含めて、「回転運動後の対象の慣性」 (McCloskey & Kohl, 1983; Kaiser, Proffitt, & Anderson, 1985) や「運動物体からの落体の軌道」 (McCloskey, Washburn, & Felch, 1983) 等に関するものが多いが、衝突事象に関しては Kaiser & Proffitt (1984) の研究を挙げることができる。彼らの研究では、衝突事象での力学的諸判断は一般にDモードにおいてより正確であるものの、観察者の年齢が高くなるにつれ、S・D両モードでの判断に差は認められなくなっていくことを指摘している。筆者 (佐藤, 2001) は、衝突事象での質量比判断において Recipient 方略が優位に選択される傾向はS・D両モードで一般に認められるものの、Sモードでは他の方略の使用頻度も高く、Dモードほど一義的ではないことから、Recipient 方略の発生的なプライオリティがDモードに求められると考察している。本研究の実験2では、Dモードで行われた実験1の手続きをSモードで行って実験1の結果と比較することにより、両モードでのパフォーマンスの関連—特に、Sモードでアクセスされる概念的知識がDモードでの判断にトップダウン的に影響する可能

性一について考察したい。

実験 1

実験 1 は、筆者の先行研究 (1998) に引き続き、D モードで呈示された衝突事象において、質量比判断の方略選択が力学的妥当性を有するかどうかを検討する第 2 の試みである。ここでは、先述の 3 種の方略で手がかりとなる情報と質量比との関数関係を問題とする。Agent 方略、Recipient 方略、Agent/Recipient 方略が手がかりとする情報は、それぞれ V_A , V_R , $|V_R| - |V_A|$ となる。質量比 $M_A/(M_A + M_R) = P$ とおいた場合、各々の情報と P の関数関係は、運動量保存の法則 ($M_A * U_A = M_A * V_A + M_R * V_R$) および弾性係数 (e) の式 ($e = (V_R - V_A)/U_A$) より、以下のように再定式化される (括弧内の式は、本論文で扱う図 1 の事象に合わせて、衝突前の Recipient の速度に 0 を代入した結果であり、一般式ではない)。

- $V_A = [P(1+e) - e] * U_A$
- $V_R = [P(1+e)] * U_A$
- $|V_R| - |V_A| = e * U_A$ (V_A と V_R が同方向の場合) または
 $[2P(1+e) - e] * U_A$ (V_A と V_R が逆方向の場合)

上記の 3 つの式から、 V_R は、 P と比例関係を有する点で質量比判断の際の情報の価値が高く、これまでの研究で一貫して認められてきた Recipient 方略の優勢な使用を裏づけられる、と仮定される。もし、Recipient 方略の優位な使用が上記の関数関係に裏づけられているのならば、 V_R が等しい場合、質量比判断は $(1+e)$ に反比例する一すなわち e が大きいほど質量比 (P) は小さいと判断される一と予測されよう。実験 1 では、この予測を検証する。

被験者

筆者および 46 名の理工系大学生が被験者として実験に参加した。性別の内訳は、男性 24

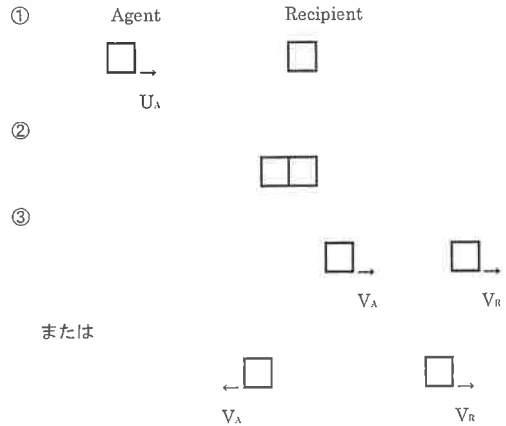


図 1 本研究で刺激として呈示される衝突事象。① 静止対象 (Recipient) に運動対象 (Agent) が速度 U_A で接近・② 衝突して③ その後それぞれが速度 V_A , V_R で運動する。

名・女性 23 名である。被験者は皆、裸眼で、もしくは矯正により、通常の視力を有している。

刺激

図 1 に示した衝突事象をパーソナルコンピュータ (NEC: PC-9801RX) で作成し、モニター (NEC: PC-KD882) 画面に呈示した。衝突する正方形 (Agent・Recipient) は一辺 20 ドットである。1 回の事象は 80 画面で構成されており、所要時間は 5.3 秒程度で衝突の前・後の所用時間は等しい。 U_A は、全ての事象を通して一定 (4 ドット/画面) である。実験で操作される変数は、被験者内要因としての V_R (1.6, 2, 2.4, 2.8, 3.2, 3.6, 4, 4.4 ドット/画面) と被験者間要因としての e (0.1, 0.5, 0.9) であり、全部で ($8 * 3 =$) 24 種類の衝突事象が作成された。

手続き

被験者は、観察する事象の弾性係数 (e) により、3 群に分けられた。 $e = 0.1$ の事象を観察した被験者は 17 名 (男性 8 名, 女性 9 名) で、 $e = 0.5, 0.9$ の事象についてはそれぞれ 17 名 (男性 9 名, 女性 8 名), 13 名 (男性 7 名, 女性 6 名) の被験者が割り当てられた。

実験は暗室内で個別に行われた。被験者の頭部は顎台で固定され、モニター画面から 57 cm

の距離で事象が観察された (Agent・Recipient の一辺は、視角にして約 0.7 度となる)。

被験者は、本試行前の教示において、1 試行ごとに 1 回の事象を観察して「Agent・Recipient のどちらが重く見えるか」を強制選択的に判断するよう、課題の説明を受けた。その際、(1) 摩擦や空気抵抗は考慮しないこと (2) 知覚印象を重視すること (3) 同一の判断が続いても懸念する必要がないこと (4) 練習試行は用意されないこと、が注意事項として伝達されている。実験は、160 ($8(V_R) * 20$ (繰り返し)) 試行で構成され、40 試行ごとに数分間の休憩を挿んだ。全試行完了後に被験者の内省報告が聴取され、実験は終了する。被験者 1 人についての実験の所要時間は 45~50 分であった。

・予測

実験 1 では、先行研究 (Sato, 1998) に引き続き、衝突事象における質量比判断のための方略選択が、力学的観点から妥当であるかどうかを検討する。特に今回は、Recipient 方略の優勢な使用、ひいては V_R の情報としての有効性が、 V_R と P (質量比) の関数関係に裏づけられている、とする仮説を検証する。上記の仮説が正しい場合、以下の予測が成り立つ (図 2 参照)。

- (1) 弾性係数 (e) が大きいほど、判断される P の値は小さくなる、すなわち「Agent を重い」と判断する確率が低くなる。
- (2) 予測 (1) が支持された場合、 $V_R = [P(1 + e)] * U_A$ に $P = 1/2$ を代入することで、「Agent と Recipient の重さが等しい」と判断される V_R の値が予測できる。 $e = 0.1, 0.5, 0.9$ に対して、上記の V_R の値はそれぞれ 2.2, 3, 3.8 となる。

Turvey (1996) は、棒の長さの知覚に関する同僚の Bingham の研究を引用して「絶対的な一致関係とは、知覚される長さを実際の長さとは完全に一致することであり、……(中略)……相対的な一致関係とは、知覚された長さの順序は実際の長さの順序と同じだが、知覚された長さを実際の長さとの関係が任意である…… (以下略) ……」と述べている (訳は三嶋 (2000) を引用) が、質量比判断に関する本研究では、予測 (1) のみが支持された場合には「相対的な一致関係」、予測 (1) (2) が共に支持された場合には「絶対的な一致関係」が成立していると言えるだろう²。

質量比判断の予測

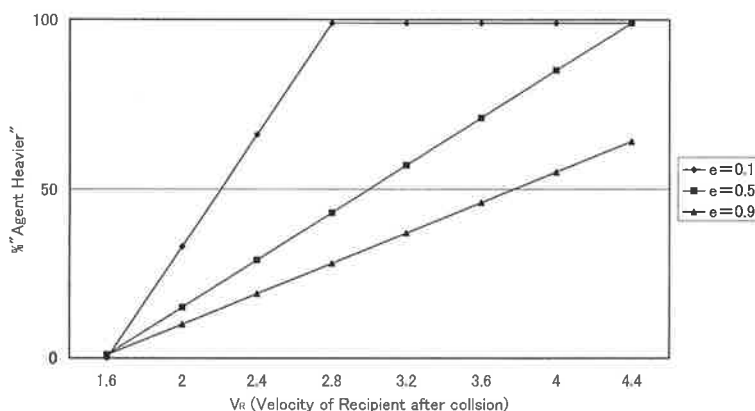


図 2 実験 1 の仮説に基づく質量比判断の予測。被験者の Recipient 方略の使用が、力学的法則から導かれる V_R と質量比の関係に裏づけられているのであれば、「Agent が重い」と判断される確率 (% “Agent Heavier”) は (1) 弾性係数 (e) が大きくなるほど低くなり、(2) $V_R = 2 * (1 + e)$ の時に 50% になると予測される。

Dモードでの質量比判断

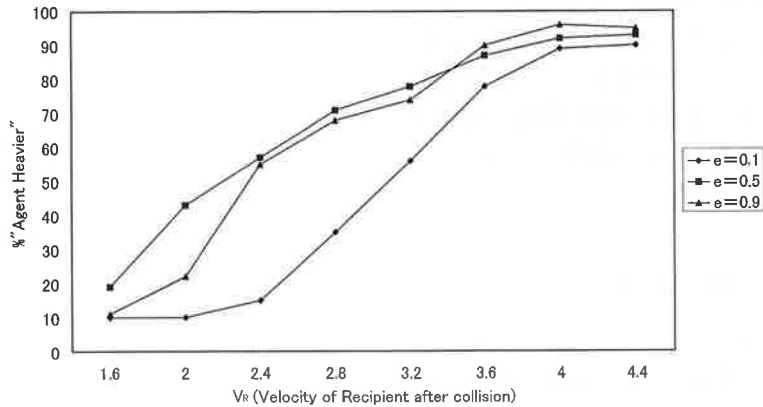


図3 実験1の結果。 V_R の関数としての%“Agent Heavier”を弾性係数別にプロットした。

・結果と考察

図3に、「Agentが重い」と判断される確率を指標として、実験1の結果を示す。この実験の考察は、各被験者がRecipient方略を主に使用していることが前提となるため、被験者の選別(除外)の基準を以下のように設定した。

- (1) $V_R=3.2\sim 4.4$ の場合に「Agentが重い」と判断される確率の平均値が、 $V_R=1.6\sim 2.8$ の場合の平均値よりも低い。
- (2) $V_R=3.2\sim 4.4$ の間で「Agentが重い」と判断される確率が最大値をとらない。もしくは、 $V_R=1.6\sim 2.8$ の間で最小値をとらない。

この基準により、 $e=0.1$ の事象を観察する被験者群から3名(男性1名、女性2名)、 $e=0.5$ の事象を観察する被験者群から2名(女性)のデータが分析から除外された。分散分析による検定の結果、弾性係数・ V_R の主効果が1%水準で有意であった。加えて弾性係数と V_R との交互作用がいずれも1%水準で有意であったため、下位検定を行ったところ、 V_R が2, 2.4, 2.8, 3.2の時に弾性係数の単純主効果が有意であった(V_R が3.2の時のみ5%水準で、他は1%水準)。また、「Agentが重い」と判断する確率は、 V_R が

2であれば弾性係数が0.5の場合に他の条件の時よりも有意に高く、それ以外の V_R (2.4, 2.8, 3.2)では弾性係数が0.1の場合に低いことが、多重比較の結果示された(すべて5%水準)。全体的な傾向としても、「Agentが重い」と判断される確率は、弾性係数が0.5の時に高く、0.1の時に低いことが見いだされており、これは明らかに先の予測(1)「弾性係数が大きいほど、Agentが重いと判断される確率が低くなる」と矛盾する結果である。したがって、予測(1)の支持を前提とする予測(2)の検証はここでは行わない。特定の衝突事象において、その状況で常に正答を導く方略が選択されるわけではないことを示した筆者の先行研究(1998)と総合すると、方略の選択が力学的妥当性を有する可能性については、明らかに否定的な見解が示されたと結論される。現時点では、力学的枠組に替わる別の説明の枠組を明示できないが、1つの可能性として、事象が観察者に与える現象的特徴の観点から考察することもできるだろう。Michotte(1963)は、図1の事象から得られる因果の印象を、衝突後Agentが静止し、Recipientの運動が始発するlaunchingと、AgentがRecipientと接触したまま押し運ぶentrainingとに大別したが、実験1における $e=0.1$ の一衝突後AgentとRecipientの間隔があまり開か

ない一衝突および $e=0.5, 0.9$ の一衝突後 Agent と Recipient の間隔が大きく開く一衝突はそれぞれ後者・前者と現象的に類似していると言える。それぞれの衝突事象における質量比判断の方略選択を、事象の現象的意味と関連づけて考察することも、今後の検討の方向性として念頭に置いておきたい。

実験 2

実験1の課題をSモード（ペーパーテスト形式）で実施し、実運動ほどの具体性を欠いた出題においてアクセスされる概念的知識が、実験1でのパフォーマンスにトップダウン的に作用している可能性を検討する。

・被験者

工科大生484名(男性462名,女性22名)が実験に参加した。全員が高校時に理科学クラスだったが、高校・大学での物理学の履修状況については確認していない。

・刺激

実験1で刺激として使用した24種類の衝突事象を被験者に図4のように図示する。各々の事象から抽出された①衝突前②衝突時③衝突後の3場面(①-②, ②-③の時間間隔は等しい)が、図4のように1ページの紙面(A4)に描画された。正方形A・Bの一辺の長さおよび①におけるA・B間の距離(X)はそれぞれ9mm, 71mmで、この値はすべての事象に共通している。衝突後のA・Bの移動距離Y・Zは、実験1で操作された $V_A \cdot V_R$ に対応して、 $X : Y : Z = U_A : V_A : V_R$ となるように設定されている。被験者に配布される問題冊子は、1頁が教示と氏名記入欄、2頁が練習課題用紙、3~10頁が、弾性係数が同一である8種類の衝突事象を図示した本課題用紙、11頁が内省報告の記入用紙となっており、本課題の衝突の呈示順序はランダムサイズされている。

・手続き

実験は、講義時間を利用して集団施行形式で

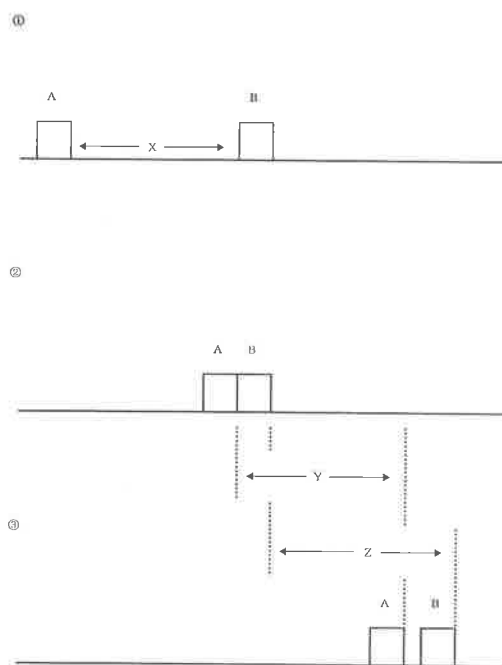


図4 実験2のペーパーテストで図示される衝突事象。実際に配布される問題冊子では、点線および矢印(X・Y・Zの文字を含む)の部分は記載されない。

行われた。被験者には問題冊子が1冊だけ配布され、弾性係数が同一である衝突事象群のみを呈示される。 $e=0.1$ の事象を図示した冊子は174名(男性160名,女性14名)に、 $e=0.5, 0.9$ の事象については151名(男性148名,女性3名), 159名(男性154名,女性5名)に配布された。被験者に問題冊子が行き渡った後、すべての問題冊子の1頁に共通して記載されている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。次の頁(2頁)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。

さらに次の頁(3頁)から8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まで通して見た場合、正方形Aと正方形Bのどちらが重く見えるのでしょうか？ それぞれの頁の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と床の摩擦抵抗や、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。次の頁(2頁)の(例)で練習してみてください。

(例)の練習が終わったら、さらに次の頁(3頁)からの8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頁(11頁)がありますのでお答えください。

結果はすべて統計的に処理されますので、個人データとして活用・公表されることは決してありません。(下線部は問題冊子には記載されていない。)

被験者は、練習試行を終えた後、8種類の衝突事象についての「重さ(質量比)」判断を自分のペースで行った。

・結果と考察

実験1と同様、被験者がRecipient方略を使用していることが前提となるので、そのための選別を行った。Recipient方略が使用されているならば、 V_R の値が小さければ「Bが重い」とする判断が続き、ある V_R の値を境にして「Aが重い」との判断に移行する、と考えられる。したがって、 V_R を値が小さい方から順に並べた場合、それに対応して「重い」と判断される対象は、BBBAAAAAのように、Bの系列とAの系列が接合した形になる、と予測される。今回の実験では、判断が完全に上記のような系列(AAAAAAAA, BBBBBBBBも含む)をなしている被験者および一ヶ所のみを除くと上記のような系列となる被験者(たとえばBBBABAAA)を分析の対象とした。選別の結果、 $e=0.1, 0.5, 0.9$ の衝突事象群について、それぞれ148(男性135, 女性13名)名, 138(男性135, 女性3名), 150(男性146, 女性4名)の被験者のデータが上記の基準を満たしていた。図5に、その結果を示す。まず、この実験の主目的であるDモードとSモードとの比較のため、実験1と実験2から弾性係数が同一であるデータを組み合わせて、ノンパラメトリック検定(Wilcoxonの符号付き順位検定)を行ったが、いずれの組み合わせでも有意な差は見られ

Sモードでの質量比判断

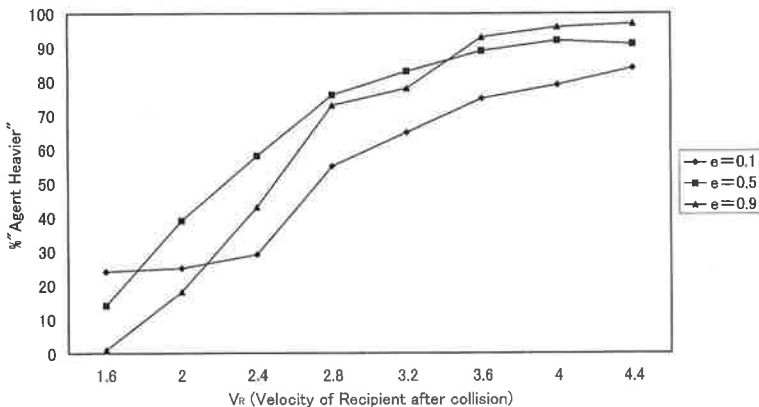


図5 実験2の結果。 V_R の関数としての% “Agent Heavier” を弾性係数別にプロットした。

なかった。さらに実験2における弾性係数の効果を検討するためにノンパラメトリック検定を実施した結果、 $e=0.5$ の場合に「Agentが重い」と判断される確率は $e=0.1$ の場合よりも有意に高い(5%水準)が、それ以外の組み合わせでは弾性係数の有意な効果は見られなかった。この結果は、Dモードでの結果と同様の傾向を示している。以上の結果を総合すると、直接的な比較では呈示モードによる質量比判断の差は認められず、したがって両者のパフォーマンスには何らかの密接な関連があることが推測される。そこで、冒頭で示した仮説—Dモードでの質量比判断のパフォーマンスは、Sモードでアクセスされる概念的な知識からトップダウン的に影響されている—を検証するために、間接的な比較になるが、DモードとSモードそれぞれにおける弾性係数の効果をノンパラメトリック検定により検討した。その結果、前者では $e=0.1$ の条件と $e=0.5, 0.9$ の条件との間にパフォーマンスの有意な差が見られた(5%水準)のに対し、後者では $e=0.1$ と $e=0.5$ の間のみ有意な差が見られ、Dモードにおいてより明瞭に弾性係数の効果を認めることができた。筆者の先行研究(佐藤, 2001)では、Recipient方略の選択傾向がDモードでより顕著であることからその発生的なプライオリティをDモードに求めたが、それと同様、本論文における弾性係数の効果についても、むしろDモードでの経験の方が原初的で、Sモードのパフォーマンスの方がその影響を受けていると考察できよう。しかし、両モードでの差異の傾向はそれほど明瞭ではなく、今後さらなる検討の可能性を残している。

総 括

本研究における各実験の結果は、図1の衝突事象における質量比判断について以下のような知見を提出する。

実験1: DモードでのRecipient方略の優勢な選択は、力学的法則から導かれる V_R と質量比($M_A/(M_A+M_R)$)との関係にその理論的根拠を有さない。

実験2: 実験1のDモードにおけるパフォーマンスは、Sモードでアクセスされる概念的知識からのトップダウン的な影響を受けておらず、むしろSモードに対して発生的プライオリティを有する、と考えられる。

上記の知見はそれぞれ、Sato (1998)、佐藤(2001)の結論を確認・補強するものである。したがって、Recipient方略の使用に関わる要因を特定する研究が今後とるべき方向性として、Dモードで提示される刺激(衝突事象)について、力学的枠組に替わる—たとえば、Michotte(1963)の因果性印象研究に代表されるような現象的枠組等—別の観点からの考察が必要になってくると考えられる。

注

- 1) より詳細なレビューについては、佐藤(2001)を参照されたい。
- 2) Bingham自身は「絶対的な一致関係」も「相対的な一致関係」も起こりにくい、と考えている。

References

- Caramazza, A., McCloskey, M., & Green, B. 1981 Naive beliefs in "sophisticated" subjects: Misconceptions about trajectories of objects. *Cognition*, 9, 117-123.
- Gilden, D.L. 1991 On the origins of dynamical awareness. *Psychological Review*, 87, 554-568.
- Gilden, D.L. & Proffitt, D.R. 1989 Understanding of collision dynamics. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 372-383.
- Kaiser, M.K., Proffitt, D.R., & 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 impetus 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.
- Runeson, S. 1977 Visual perception of dynamic events. Unpublished doctoral dissertation, University of Uppsala, Sweden. (cited by Gilden & Proffitt, 1989)
- 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 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.
- 佐藤手織 2001 Paper-and-pencil課題における衝突対象の質量比判断 八戸工業大学紀要, 20, 155-166.
- Todd, J.T. & Warren, W.H. 1982 Visual perception of relative mass in dynamic events. *Perception*, 11, 325-335.
- Turvey, M.T. 1996 'Dynamic Touch' *American Psychologists*, 51, 1134-1152. (「ダイナミック・タッチ」三嶋博之訳『アフォーダンスの構想』佐々木正人・三嶋博之編監訳 東京大学出版会)