

衝突事象における質量比判断の方略の発達的变化

佐藤 手 織*

Developmental Trends of the Heuristics Used for Relative Mass Judgements in Collision Events

Taori SATO*

Abstract

The purpose of this study is to examine developmental trends in heuristics used for relative mass judgements. Twenty-seven preschoolers, fifty-three second graders, and sixty-five fifth graders participated as subjects, and were asked to judge the relative mass in collision events where one stationary square (recipient) was impinged upon by another moving one (agent). Their data were compared with each other and those of adults reported in our previous study (Sato, 1995).

The results showed that the heuristics used by the subjects varied by age. The age trend and its interaction with gender were discussed.

Keywords: collision events, heuristics, relative mass judgement, development

背 景

衝突事象知覚の体系的な実験的検討は、ミシヨットに始まる (Michotte, 1946; Thinès, Costall, & Butterworth, 1991)。彼は衝突事象を模した多数のディスプレイを呈示した際の被験者の主観的印象を検討し、適当な条件のもとでの衝突に関わる対象の因果関係は、推論によってではなく直接的に経験されると結論づけている。この問題はもともと、伝統的な哲学的対立であるところの「経験論」対「合理論」の文脈の中に位置づけられるもので、特にミシヨットは、ヒュームの「結果に対する原因の時間的先行」「原因と結果の時空間的近接」等を前提とした経験主義に対する反証として自分の実験結果を解釈している。彼の言うように因果性の知覚が経験や修練を要しない生得的・本質的能力であるとするならば、当然児童において

も成人同様のパフォーマンスが期待されることになり、ミシヨット自身このような発達心理学的見地からの検討の必要性を指摘している。その後多数の研究者により、児童を対象にして衝突事象における因果性知覚の実験的検討が行われるようになった。本研究の本来の関心ではないため詳述は避けるが、Olum (1956)、Piaget & Lambercier (1958)、及び Leslie (1982, 1984)の一連の研究等を代表的な研究として挙げる事ができる。さらに現在では、衝突事象知覚研究の関心は、衝突する対象の質量比判断へも移っている。この流れの研究はもともと、近刺激内に含まれる運動情報が不足ない場合、事象の力学的特性は真正かつ直接的に知覚されるという KSD (Kinematic Specification of Dynamics) 理論に関して有力な検証材料を提供する目的で始められており、当然初期の研究は KSD 理論の枠組みの中で行われているものが多い (Runeson, 1977; Todd & Warren, 1982; Kaiser & Proffitt, 1984, 1987)。しかし

平成 8 年 10 月 18 日受理

* 総合教育センター・助教授

一方では、我々の日常経験から派生するヒューリスティック（方略）によって質量比判断を説明しようとする立場（ヒューリスティック理論）の研究が現在ではむしろ多くなっており（Todd & Warren, 1982; Gilden & Proffitt, 1989; Gilden, 1991）、ここでも因果性知覚と同様の二分法的対立図式を見ることができる。Todd & Warren (1982) は、2種類の正面衝突事象（衝突前、一方の対象が静止している Stationary Condition（静止条件）と2つの対象が互いに接近し合って衝突する Moving Condition（運動条件）；以下、他の研究の実験もこの定義に基づいて分類・記述する）を用いて、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種類に分類している。¹⁾

Initial/Final Speed Hypothesis

……衝突後の一方の対象の速度が、もう一方の対象の衝突前の速度よりも大きければ、その対象は軽い、と判断される。

Direction Hypothesis

……衝突後、衝突前と運動方向が変わらない対象は重い、と判断される。

Final Speed Hypothesis

……衝突後の2つの対象の速度を比較し、速い方が軽いと判断する。

また Gilden & Proffitt (1989) は、衝突後に対象がさまざまな方向に運動する Stationary Condition を用いて、Final Speed Hypothesis と Direction Hypothesis に対応する Velocity heuristic と Angle heuristic とを区別している。我々は、Stationary Condition タイプの正面衝突事象を成人の被験者に呈示し、Todd & Warren (1982) と同様の3つのヒューリスティックが質量比判断に用いられることを確認しているが、中でも Initial/Final Speed Hypothesis の使用頻度が圧倒的に高く、Direc-

tion Hypothesis がそれに次ぎ、Final Speed Hypothesis はほとんど用いられないことを示した (Sato, 1991, 1995)。このように分類されたヒューリスティックに関しては、それぞれの使用頻度を特定する要因についての検討が必要となるが、この問題に最初に言及しているのも Todd & Warren (1982) で、Moving Condition においては Final Speed Hypothesis が優位に使用され質量比判断の正答率も高いが、Stationary Condition においては使用方略が一義的に特定できず誤答も多くなるとしている。Gilden & Proffitt (1989) は、運動の速度・方向情報の salience による説明を行っており、例えば衝突後の対象の速度比が大きい (>1.5) 場合には Velocity heuristic、衝突後跳ね返る対象がある場合には Angle heuristic というように、salience が高い(目立つ)情報に基づいて質量比判断が行われると論じている。また Sato (1991, 1995) は、Stationary Condition を用いた実験結果から、① 呈示されるさまざまな衝突事象の組み合わせにかかわらず、Initial/Final Speed Hypothesis の使用頻度が高いこと、② 教示により衝突事象に含まれる特定の対象への注意を促してもやはり Initial/Final Speed Hypothesis の使用頻度が高いこと、を見いだしている。これらの研究はいずれも刺激要因の検討を主としていて、主体要因については Sato (1991, 1995) が性差を問題にしているのみである。年齢の問題も当然重要な主体要因として検討されるべきであるが、質量比判断の研究全般を見回しても Kaiser & Proffitt (1984) や Nakamura (1995) の研究が散見される程度で、因果性知覚研究と比較してその数はまだまだ少ない、と言わざるを得ない。Kaiser & Proffitt (1984) の研究は、幼稚園児 (6 歳児)・小学校2 学年 (8 歳児)・小学校4 学年 (10 歳児)・大学生 (成人) を被験者として、球の移動や Stationary Condition の衝突・拳重動作等の事象を呈示し、球の衝突事象観察時には事象の「自然さ」判断に加えて衝突する2球の「質量比」判断を

求めている。その結果、加齢に伴って判断の正答率は増加しており、特に大学生のパフォーマンスの正確度は他の年齢層よりも有意に高いことが見いだされた。一方 Nakamura (1995) は、4~6 歳児を対象に衝突 (Moving Condition)・非衝突事象における質量比判断の検討を行っている。特に、等速で接近して衝突した後には異なる速度で対象が跳ね返る事象と衝突せずに 2 つの対象が異なる速度で離れていく事象とを比較した結果、① いずれの事象においても「速度の大きい対象は、小さい対象よりも軽い」(衝突事象では Final Speed Hypothesis に対応) というヒューリスティックの使用が 5~6 歳児に優位に認められ、力学的法則に基づいた正答が導かれること、② 上記のヒューリスティックを用いた質量比判断は非衝突事象よりも衝突事象において容易であり、衝突後のみならず衝突前の運動情報が質量比判断に有効であること、を論じている。

本論文の目的は、Todd & Warren (1982) のヒューリスティックの分類 (Initial/Final Speed Hypothesis・Direction Hypothesis・Final Speed Hypothesis) に基づき、衝突事象の質量比判断に使用されるヒューリスティックの発達的变化を検討することである。実験 1 では、就学前児童 (保育園児)、実験 2 では小学校低学年 (2 学年)・高学年 (5 学年) を対象に Stationary Condition の衝突事象を呈示し、そのパフォーマンスの特徴および使用されるヒューリスティックを検討した。さらに「総括」においては、我々の先行研究 (Sato, 1995) で得られた成人データ (本論文と同一の刺激を呈示)²⁾ と併せて本論文のデータを考察し、Kaiser & Proffitt (1984) とほぼ同じ年齢設定での発達比較検討を行う。

実 験

本論文の実験 1・2 では基本的に同一の刺激が用いられているので、ここで記述しておく。ま

た、刺激に KSD 理論もしくはヒューリスティック理論の各方略 (Initial/Final Speed Hypothesis, Final Speed Hypothesis, Direction Hypothesis) が適用された場合に予測される質量比判断のパフォーマンスについても併せて示す。

・刺激

呈示される刺激事象は、基本的に我々の先行研究 (Sato, 1991, 1995) で用いられたものと同じである。6 種類の衝突事象がコンピュータにより作成され、CRT 画面上に呈示された。1 画面の呈示時間は 67 msec で、1 つの刺激事象の呈示時間は 5.3 sec である。刺激事象の基本的な系列は図 1 に示す通りで、(1) Agent (行為の作用主体) となる正方形が画面左側から右方向に運動する、(2) Agent が画面中央の正方形 (Recipient: 行為の受容体) に衝突する、(3) 衝突後、Recipient は右方向に運動し始め、Agent はそのまま直進し続けるか、跳ね返る。衝突に関わる変数は以下のように定義される。

M_A …Agent の質量

M_R …Recipient の質量

U_A …Agent の衝突前の速度

V_A …Agent の衝突後の速度

V_R …Recipient の衝突後の速度

e …衝突の弾性係数

(運動速度が正の値の場合には右方向への運動、負の値の場合には左方向の運動を示す)

衝突に関する独立変数は、Agent と Recipient の質量比 (M_A/M_R) と弾性係数 (e) である。 M_A/M_R は 3 段階 (1/2, 2/3, 3/4), e は 2 段階 (0.1, 0.9) に操作された。 M_A/M_R と e の各値の組み合わせと、(U_A を定数 4 と定めた場合の) V_A , V_R の値との対応は表 1 に示す通りである。

・予測

本論文の実験刺激は、KSD 理論もしくはヒューリスティック理論の方略 (Initial/Final Speed Hypothesis, Final Speed Hypothesis,

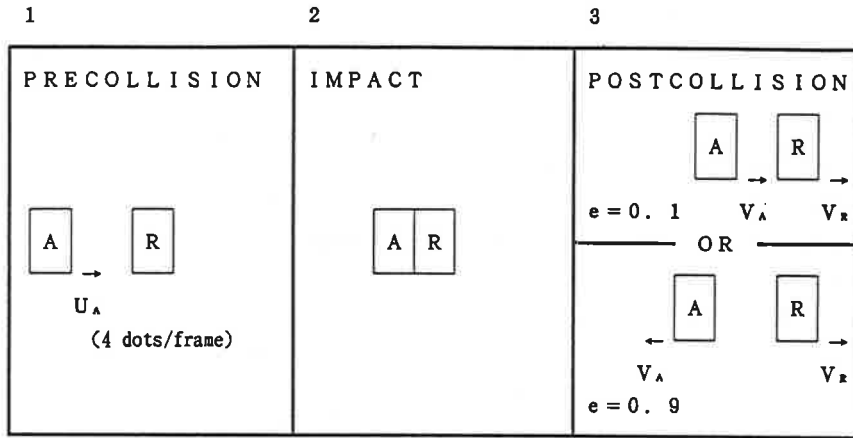


図1 刺激として呈示される衝突事象の系列。(1) 画面左側から正方形 (Agent) が画面中央に静止している正方形 (Recipient) に接近し、(2) 衝突する。(3) 衝突後、Recipient は右方向に運動を開始し、Agent は衝突前と同じ方向に進行し続ける ($e=0.1$) か、跳ね返る ($e=0.9$)。

Direction Hypothesis) をそれぞれ適用した場合、予測される質量比判断のパフォーマンスが異なるように作成されている。尚、それぞれのヒューリスティックは本実験においては以下のように書き直すことができる。

Initial/Final Speed Hypothesis

……衝突後の Recipient の速度が、衝突前の Agent の速度よりも大きい場合には軽い。

Direction Hypothesis

……衝突後、Agent が跳ね返れば軽い。

Final Speed Hypothesis

……衝突後、Agent と Recipient の速度を比較して速い方が軽い。

図2は、弾性係数の関数としてプロットされた質量比判断のパフォーマンス—「A (Agent) が重いと判断される確率 (以下, Percent “A Heavier”)」—によって予測を表示したものである。各理論・方略を原義通り適用すると、KSD理論からの予測と Initial/Final Speed Hypothesis

表1 実験刺激として用いられた衝突事象の変数表示。弾性係数 ($e=0.1, 0.9$) と質量比 (M_A/M_R) の組み合わせに対して、衝突後の Agent・Recipient の速度が示されている。速度の単位は (画面の) dot/frame で、衝突前の Agent の速度は全ての事象において4である。

M_A/M_R	e	0.1	0.9
1/2		$V_A=1.1$	$V_A=-1.1$
		$V_R=1.5$	$V_R=2.5$
2/3		1.36	-0.6
		1.76	3
3/4		1.54	-0.3
		1.94	3.3

sisの使用からの予測は、同一のパフォーマンスを示すことになる (図2左の ORIGINAL PREDICTION 参照)。しかし本論と同様の刺激を用いた予備実験では、衝突前の Agent の速度 (U_A) が一定であるため Initial/Final Speed Hypothesis を使用する被験者は、主として衝突後の Recipient の速度 (V_R) の大小によって質量比判断を相対化する傾向が認められた。すなわち、図2右の MODIFIED PREDICTION に

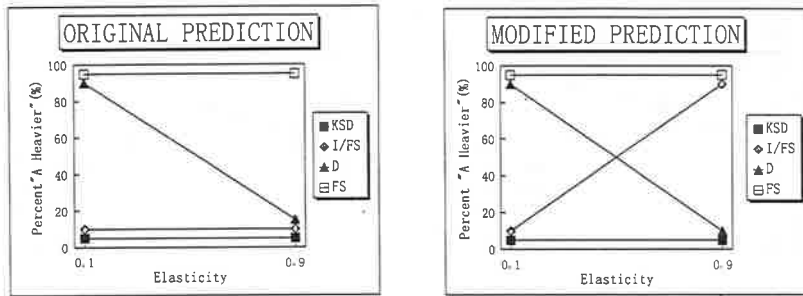


図2 KSD理論およびTodd & Warren (1982)の提唱した3種のヒューリスティック (I/FS: Initial/Final Speed Hypothesis・D: Direction Hypothesis・FS: Final Speed Hypothesis)を本論文の実験刺激に適用した場合に予測される質量比判断のパフォーマンスを図示。左のパネル (ORIGINAL PREDICTION) は上記の理論およびヒューリスティックを字義通り適用した場合の予測で、右のパネル (MODIFIED PREDICTION) はI/FSからの予測を修正している。

示すように、 V_R が本実験の刺激の範囲内では相対的に大きい $e=0.9$ の条件の場合に「Recipient は軽い」と判断される確率が高くなり、したがって Percent “A Heavier” が高くなる、と予測される。本実験の結果は、図2の MODIFIED PREDICTION との比較対照を通して考察される。

実験 1

方 法

・被験児

宮城県仙台市内の社会福祉法人保育園の措置児童のうち、5-6歳児27名が被験者として実験に参加した。年齢と性別による内訳は、5歳男児が7名(平均年齢5歳5ヶ月)、5歳女児が8名(平均年齢5歳5ヶ月)、6歳男児が5名(平均年齢6歳2ヶ月)、6歳女児7名(平均年齢6歳4ヶ月)である。全ての被験児は、裸眼で、もしくは矯正により通常レベルの視力を有していた。

・手続き

実験は、保育園内の個室(明室)で個別に行われた。実験前、各被験児の「重さ」の意味の理解度を確認するために、「ゾウとイヌはどちらが重いか?」「紙と鉄はどちらが重いか?」の質問ならびに鈴木・ピネー知能検査のおもり問題

(2つのおもりから重い方を選択する)が課せられ、全て正答した被験児の結果のみを分析の対象とした。上記の27人の被験児は全員この基準を満たしている。なおこの後、本試行実施に先立っての練習試行は課せられなかった。本試行での刺激の呈示は、ノート型パソコン(EPSON PC286BOOK)によって行われた。被験児は、パソコンのディスプレイから約50cmの距離において刺激事象を両眼で観察し、頭部の動きは特に制限されていない。しかし、実験中特に視線が安定しない被験児に対しては、実験者から適宜注意が与えられた。本試行では、6種類の衝突事象それぞれにつき3回の繰り返しがあり、計18試行がランダムな順序で行われた。被験児は各試行後、実験者の「(AgentとRecipientとは)どちらの正方形が重く見えましたか?」の問に対し、口頭もしくは対応する手(Agentに対しては左手、Recipientに対しては右手)を挙げることによって強制選択することが課題となり、さらに本試行終了後、質量比判断の理由についての内省報告が求められた。被験児1人あたりの実験の所用時間は、15~20分である。

・結果

Percent “A Heavier” を質量比判断のパフォーマンスの指標とし、質量比の関数として弾性係数毎にプロットしたグラフを、男女別に表示(図3)。同一刺激を呈示した3試行中で過

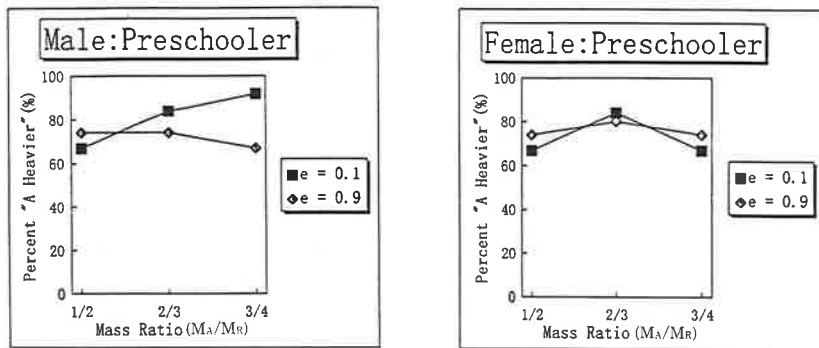


図3 実験1の結果。就学前児童の質量比判断の指標 Percent “A (Agent) Heavier” を、質量比の関数として男女別にプロットした。

半数 (2, 3 試行) を占めた反応 (「Agent が重い」もしくは「Recipient が重い」) を被験者の反応として採用し、ノンパラメトリック検定の符号検定を実施した結果、6 種類の刺激事象のいずれに対しても、Percent “A Heavier” が有意にチャンスレベルを超えていた ($p < 0.05$)。また、各弾性係数についての Percent “A Heavier” の平均値 (3 (質量比) \times 3 (試行) = 9 試行中で「A が重い」と判断された確率) を男女別にプロットしたグラフを図4に示す。この結果について、2 要因 (被験者間要因: 性別, 被験者内要因: 弾性係数) の分散分析を実施した結果、いずれの要因の主効果および交互作用も有意ではなかった。

・考察

図2の予測と図4の結果を比較対照すると、就学前児童の質量比判断のパフォーマンスは Final Speed Hypothesis に依拠している可能性が高いことが明らかに示されている。参考のために、20 名の被験児から得られた質量比判断のための方略 (ヒューリスティック) に関する内省報告を分類し、その報告者数と典型例とを以下に示す。

(1) Final Speed Hypothesis に対応する方略 (8 名)

(例) 「(衝突後の Agent は) ゆっくりだか

ら・遅いから」

「() 止まるから・動かなかったから」

「だってこっちの方 (Recipient) は速くヒューって行くでしょ、こっち (Agent) は静かに動いてちょっと動いたただけで消えてしまうから」

(2) 擬人的な方略 (2 名)

(例) 「(Agent が) 押してくるから」

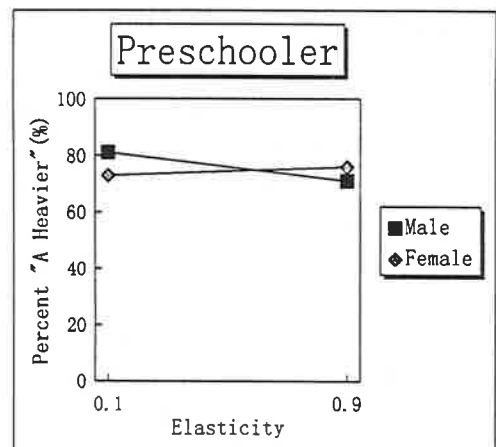


図4 実験1の結果。Percent “A (Agent) Heavier” を質量比について平均値を算出し、弾性係数の関数としてプロットした。図2の予測との比較のために作成。

- (3) 合理的な方略 (大きさ・形状等の外的特性による区別を求める場合) (5名)

(例) 「(Agentの方が) (ちょっと) 大きいから」

「(//) ちょっとベチャンコなの」

「線が出ている方 (が重い)」

- (4) 合理的な方略 (内的特性による区別を求める場合) (2名)

(例) 「(Agentが) 石や鉄だと思った」

「(Agentの) 中に何か入っているから」

- (5) 同語反復 (3名)

(例) 「(Agentの方が) 重たい感じがするから」

「(//) 重いから」

「(//) 超重たかった」

(1) の方略「Agentがゆっくりだから重い」による判断はAgentの速度のみに基づいて質量比判断が行われているというよりは、言外にAgentよりも速いRecipientの存在が意識されていて、内容自体はFinal Speed Hypothesisと対応している、と考えられる。この方略は実際に「Agentが重い」との判断を導くと考えられ、パフォーマンスと対応しているが、(3) (4) (5) の方略については、刺激事象の物理的特性からそれらが導かれる論理的必然性を認めるのは困難である(パフォーマンスとは一部対応)。そして、(1) の方略を内省報告した被験児は上述の通り8名で、内省報告者20名の半数以下となっている。しかし、これをもって他の内省報告者の質量比判断のパフォーマンスがFinal Speed Hypothesisに基づいていないと結論づけることはできない。Nisbett & Wilson (1977) や Simon (1980) が指摘しているとおり、言語報告とパフォーマンスは必ずしもお互いの内容を正確に反映しているものではなく、衝突事象知覚

研究の文脈でも 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, 訳筆者)」と述べている。むしろ就学前児童においては、行動レベルで達成されたパフォーマンスを言語レベルで明確に表現することが困難であるという一種のデカラーージュ現象として説明することもできよう。

次に、Final Speed Hypothesis に対応する(1)の方略について考察する。これらについては、上述の「ゆっくりだから」「静かだから」等の表現から分かる通り、衝突後のAgentの運動情報を手がかりとしている、と考えられる。元来、Final Speed Hypothesis は「衝突後のAgentとRecipientの速度を比較して大きい方が軽い」と判断する方略であるから、「衝突後」の情報が手がかりになっているという点に対応している。この年齢層での「衝突後」の情報の利用については、「総括」において他の年齢層と比較対照しながら発達心理学的観点から論じることとする。最後に、内省報告の表現でAgentの運動に焦点が当てられている点について考えてみたい。まず第1には、就学前児童は一般にAgentに注意が向き易いという可能性が考えられる。言語獲得の以前もしくは初期の段階において、既にagent/recipient・animate/inanimate等の重要な分化が達成されていることが乳幼児を対象にした実験的研究から明らかにされている (Golinkoff, 1975; Leslie, 1982, 1984; Mandler, 1992 etc.) が、行為 (action) を媒介としたAgentとRecipientの相互交渉場面の観察においてAgentが注視されやすい傾向も1~2歳児を対象に確認されている (Robertson & Suci, 1980)。上記の研究と本実験の被験児群との間では年齢の違いが大きいですが、衝突事象知覚におけるAgent注視の傾向が就学前児童期まで認められる可能性を指摘しておきたい。第2には、実験での課題の表現に関わっている可能性が挙げられる。被験者への質問は「どちらが重く見えますか？」という形式で与えられたため、重く見えるAgentを主語としてその特徴か

らの理由づけを回答したとも推測されよう。

実験 2

方 法

・被験児

仙台市内の公立小学校の2学年(低学年)と5学年(高学年)のそれぞれ2クラス、合計4クラスの生徒が被験者として実験に参加した。年齢・性別による内訳は、低学年男子26名、低学

年女子27名、高学年男子34名、高学年女子31名である。全ての被験児は、裸眼で、もしくは矯正により通常の視力を有している。

・手続き

実験は、小学校の視聴覚室内で1クラスずつ、集団施行の形で行った。刺激の呈示は、ビデオ録画した実験1と同一の刺激事象を液晶ビデオプロジェクター(SHARP XU-H1Z)でスクリーン(縦:約3m×横:約3m)に映写する方法を用いた。被験児は、前後適宜数列に並んで

(1) 「どっちの口が重く見えるでしょうか？」

左が重く見えたら アに○、右が重く見えたら イに○をつけてください。

1.	ア	イ
2.	ア	イ
3.	ア	イ
4.	ア	イ
5.	ア	イ

(2) どっちが重いかを決めた時の、あなたの気持ちにあてはまるものに○、あてはまらないものには×をつけてください。

() ① ぶつかった後で、速く動く口は軽く見える。

() ② ぶつかった後で、アがはねかえるとアが軽く見える。

() ③ ぶつかった後で、イが大きく動くと、イが軽く見える。

() ④ ぶつかった後で、イがあまり動かないと、イが重く見える。

() ⑤ ぶつかった後で、ゆっくり動く口は重く見える。

() ⑥ ぶつかった後で、アがイを押し続けると、アが重く見える。

図5 実験2で小学生対象に用いた回答用紙。(1)は、質量比判断の回答の部分。各刺激事象の呈示後に、ア(Agent)・イ(Recipient)のどちらが重く見えるかを選択して用紙に記入する。(2)は、用いられたヒュースティックについての内省報告の部分。①⑤はFinal Speed Hypothesis, ②⑥はDirection Hypothesis, ③④はInitial/Final Speed Hypothesisに対応している。下線部は、回答用紙には記入されていない。尚、(1)(2)とも小学校2学年に対してはすべて平仮名表記である。

床に座り、前方に呈示される刺激事象を観察した。姿勢および頭部を含めた身体の動きは基本的に自由で制限はされなかったが、実験中著しく集中力を欠く被験児に対しては適宜注意が与えられた。観察距離は、最短で1 m・最長で3 m程度である。練習用の3試行の後、本試行として6種類の刺激事象をそれぞれ10回づつ、合計60試行をランダムな順序で呈示した。被験児は1試行毎に「AgentとRecipientのどちらが重いか」を判断し、配布された回答用紙に記入するよう求められた（図5(1)参照）。全ての試行が終了すると、被験児は内省報告として、回答用紙に記載された選択肢の中から自らが質量比判断に用いたと思い当たるヒューリスティックおよび観察時間中に注目していた対象を選んで回答するよう求められる（図5(2)参照）。実験

は暗所視条件で行われたが、被験児が回答用紙へ記入できる程度の明るさは確保されていた。1クラスあたりの実験時間は約45分程度で、授業時間を利用して行われた。

・結果

質量比判断のパフォーマンスの指標を Percent “A Heavier” とし、質量比の関数として弾性係数毎にプロットしたグラフを、各学年および性別毎に示す（図6）。これらのデータに、4要因（被験者間要因：学年（2学年・5学年）、性別（男・女）、被験者内要因：弾性係数（0.1, 0.9）、質量比（1/2, 2/3, 3/4））の分散分析を実施した結果、学年・弾性係数・質量比の主効果が1%水準で有意、さらに学年×性別の交互作用がマージナルであった。さらに交互作用の下位検定の結果、2学年において性差（特に $e=0.1$ の時）の

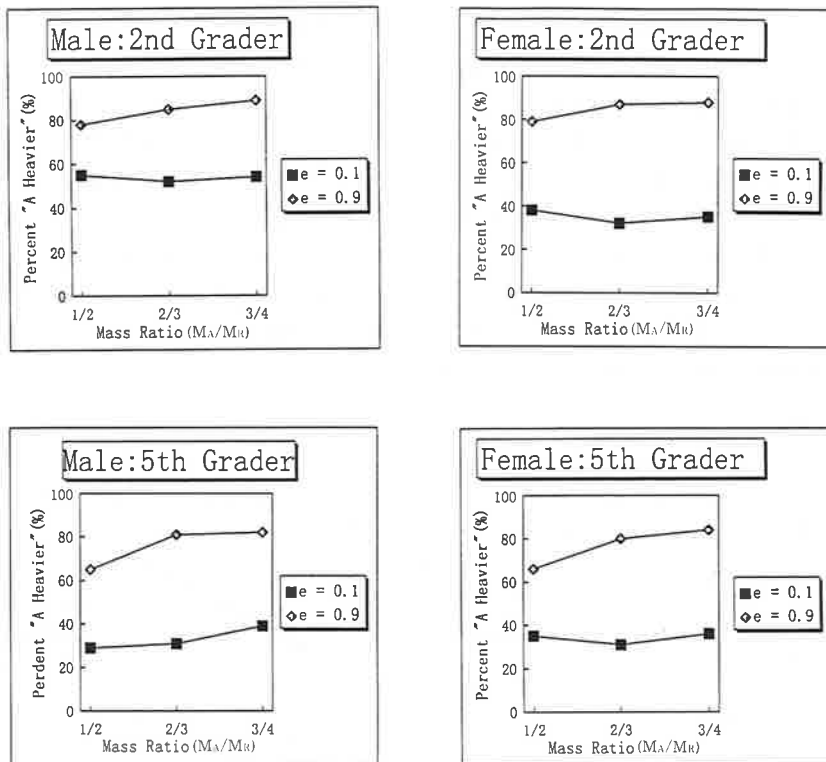


図6 実験2の結果。小学校低学年(2学年)・高学年(5学年)の質量比判断の指標 Percent “A (Agent) Heavier” を、質量比の関数として男女別にプロットした。

効果が統計的に有意であった ($p < 0.05$)。また、各弾性係数毎に質量比に関して Percent “A Heavier” の平均値を算出してプロットしたグラフを学年および性別毎に示す (図7)。学年と性別の組み合わせによって被験者を分けたグループ毎に、Percent “A Heavier” についてノンパラメトリックな検定を実施した結果、全てのグループにおいて $e=0.1$ の時よりも $e=0.9$ の時の Percent “A Heavier” が有意に大きいこと ($p < 0.01$)、また $e=0.9$ の Percent “A Heavier” が有意にチャンスレベルよりも高いこと ($p < 0.05$) が見いだされた。 $e=0.1$ の時の Percent “A Heavier” については、2 学年の男子においてチャンスレベルと有意差がないことを除けば、常にチャンスレベルよりも有意に低い傾向が認められた ($p < 0.05$)。

次に、質量比判断に利用したヒューリスティックについて検討する。図5(2)に示した6つのヒューリスティックから被験者が選択したヒューリスティックの数の平均は、2 学年男子で3、2 学年女子で3.41、5 学年男子で3.61、5 学年女子で3.87であった(表2 参照)。分散分析の結果、これらの平均値間では、学年による主効果が統計的に有意である ($p < 0.01$) こと、および性別の主効果がマージナルであることが認められた。また、質量比判断に用いられた各ヒューリスティック (Initial/Final Speed Hypothesis・Direction Hypothesis・Final Speed

Hypothesis) の数の平均も、学年と性別との組み合わせによって分類した被験者グループ毎に表2に示してある。カイ2乗検定の結果、各ヒューリスティックの使用頻度についてはグループ間での統計的な有意差が認められなかった。そこで各ヒューリスティック毎に、4グループから使用報告数の平均値を算出し、これらの値について再びカイ2乗検定を行った。その結果、「各ヒューリスティックの使用頻度は等しい」との帰無仮説は棄却され、Initial/Final Speed Hypothesis と Final Speed Hypothesis の使用頻度に差はないが、前2者と比較すると Direction Hypothesis の使用頻度は低いことが示唆された ($p < 0.05$)。

・考察

質量比判断のパフォーマンスについては、低学年男子以外の被験者群には共通の傾向が認められた。図2の予測と図7の結果を比較参照しつつ考察すると、これらのグループは明らかに Initial/Final Speed Hypothesis を質量比判断に有効な方略として用いていることがうかがえる。それに対し、低学年男子の被験者では $e=0.1$ の場合の Percent “A Heavier” が他の群よりも高く、これについて個人データを分析した結果、Final Speed Hypothesis を方略として用いた場合に予測されるパフォーマンスパターンを示す被験者の比率が他のグループよりも高いことが原因として考えられた。事実、図7の結

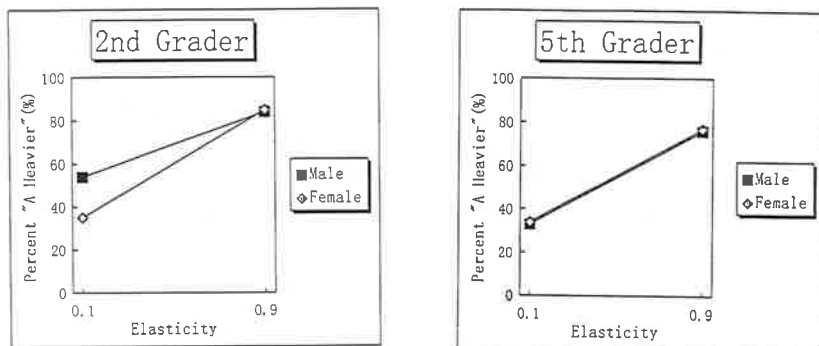


図7 実験2の結果。Percent “A (Agent) Heavier” を質量比について平均値を算出し、弾性係数の関数としてプロットした。図2の予測との比較のために作成。

表2 実験2の内省(図5(2)への記入)における各ヒューリスティックの使用報告総数ならびに各被験者の平均使用報告数(セルの括弧内の数字=総数/N)を学年・性別毎に示す。使用報告数は、図5(2)で選択された各ヒューリスティックに対応する項目(①～⑥)の数。1人の被験者が報告可能な各ヒューリスティックの使用数は、0, 1, 2である。

学年・性別 ヒューリスティック	2 学年		5 学年		Total (N=118)
	♂ (N=26)	♀ (N=27)	♂ (N=34)	♀ (N=31)	
Initial/Final Speed Hypothesis	29 (1.1)	37 (1.4)	55 (1.6)	53 (1.7)	174 (1.5)
Direction Hypothesis	17 (0.7)	25 (0.9)	24 (0.7)	19 (0.6)	85 (0.7)
Final Speed Hypothesis	32 (1.2)	30 (1.1)	44 (1.3)	48 (1.5)	154 (1.3)
Total	78 (3.0)	92 (3.4)	123 (3.6)	120 (3.9)	413 (3.5)

果における低学年男子のプロットは、図2のInitial/Final Speed HypothesisおよびFinal Speed Hypothesisの使用から予測されるそれぞれのプロットの間中形を示している、と考えられる。

また、質量比判断に用いられたとして内省報告されたヒューリスティックについては、(1) 学年が高くなると、使用したと報告されるヒューリスティックの数も多くなること、(2) Initial/Final Speed HypothesisとFinal Speed Hypothesisが同等に使用されていることが認められた(表2参照)。各グループの質量比判断のパフォーマンスを特徴づけるヒューリスティックについては後の「総括」の中で詳細に論ずることにして、ここではヒューリスティックの内省報告について考察を進めたい。(1) について表2を検討すると、年齢に伴うヒューリスティックの使用数の増加は、男子についてはInitial/Final Speed Hypothesis、女子についてはInitial/Final Speed HypothesisとFinal Speed Hypothesisの両方の使用数の増加から説明されることが認められる。さらに個人データにより、図5(2)のInitial/Final Speed Hypothesis・Final Speed Hypothesisそれぞれに対応する2つの選択肢(前者は③④、後者は①⑤)をとともに回答する比率の発達的变化を検討した結果、男子のInitial/Final Speed

Hypothesisについては38% (2 学年) から67% (5 学年)、女子ではInitial/Final Speed Hypothesisについては48% から71%、Final Speed Hypothesisについては36% から78%といずれも大きく増加していた。これは、発達にともなってヒューリスティックの選択について一貫性が高くなることを示唆していると考えられる。また(2)については、低学年男子を除けば、質量比判断のパフォーマンスパターンと一致しているとは言い難い。低学年男子以外のグループのパフォーマンスは専らInitial/Final Speed Hypothesisの使用から予測されるパターンとのみ合致しているからである。低学年男子以外のグループにおいてFinal Speed Hypothesisを質量比判断に使用したという報告を反映するパフォーマンスが認められないことについては、2通りの理由づけが考えられる。1つは、我々が先行研究において認めた、ヒューリスティックのアクセスビリティとユーティリティとの区別に関する(Sato, 1991, 1995)。我々は、ヒューリスティックの想起可能性をアクセスビリティ、使用の可能性をユーティリティと別個に定義し、想起されても判断に用いられないヒューリスティックがあることを示唆した。この調査における被験児は、実際に質量比判断に使用したしないにかかわらず、想起したヒューリスティックに該当する項目を全て選

択回答したのかもしれない。換言すれば, Initial/Final Speed Hypothesis・Final Speed Hypothesis ともに想起は容易だが, 後者は判断に利用される確率が低く, 一方 Direction Hypothesis は想起すら困難なヒューリスティックであったと言える。2 つ目に考えられる理由は, 選択肢の表現に関わる。Final Speed Hypothesis は前述の通り, 衝突後の Agent と Recipient の速度を比較して速い方を軽いと判断する方略で, 2 つの対象の速度比較を行うことが重要な手続きとなっているが, この点が本調査の選択肢の表現では強調不足だったとも考えられる。Final Speed Hypothesis に該当する選択肢 (図 5(2) における選択肢 ① ⑤) は, 主語の正方形を Recipient に置き換えると Initial/Final Speed Hypothesis に対応する選択肢 (③ ④) とほぼ同義の表現になる。したがって, 被験児が実際に想起したのが Initial/Final Speed Hypothesis であったにも関わらず, 上述の表現の曖昧さから, Final Speed Hypothesis に該当する選択肢も, 使用したヒューリスティックとして回答した, という可能性も考慮する必要がある。

総 括

図 8 は, 本論文と同一の実験刺激を用いて成人 (大学生・大学院生) を対象に行った我々の

先行研究 (Sato, 1995) のデータと本論文の実験データを合わせて, 各年齢における質量比判断のパフォーマンスを男女毎に示すために作成したグラフである。全ての実験の呈示モードが異なる²⁾ため統計的手続きによる比較は行わないが, この図 8 と図 2 の予測とを視察により比較対照することで, 衝突事象における質量比判断に関わる発達・性別の要因について考察を加える。

発達 (年齢) の要因

加齢に伴う質量比判断のパフォーマンスの変化は, 移行段階での達成水準に若干の性差がうかがえるものの, 概して共通のパターンを示している, といえる。つまり質量比判断を基礎づけるヒューリスティックは, 低年齢の被験児 (就学前児童) においては Final Speed Hypothesis が優勢であるが, 加齢に伴って Initial/Final Speed Hypothesis の使用頻度が高まっていく。そして, 既に小学校高学年レベルでは, 成人と変わらない, ほぼ Initial/Final Speed Hypothesis 中心といったいいパフォーマンスを示すようになる。小学校高学年と成人の間の年齢層については実験的検討を加えていないので, この変化が必ずしも非可逆的かどうか断じることにはできないが, 成人のデータを参考にしながら上記の移行について考察してみたい。まず成人について言えるのは, 実際に使用されるかどうか

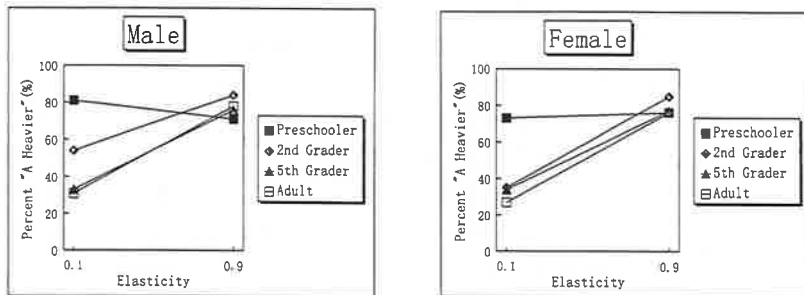


図 8 質量比判断のパフォーマンスの発達の变化を男女別に図示。就学前児童・小学校 2 学年・小学校 5 学年のデータは本論文の実験から, 成人のデータは筆者の先行研究 (Sato, 1995) の実験から得られた。プロットの方法は図 4・図 7 と同様で, 図 2 の予測との比較のために作成された。

というユーティリティの問題は別として、質量比判断のためのヒューリスティックとして主にアクセス(想起)されるのは、Initial/Final Speed Hypothesis と Direction Hypothesis であるということである(Sato, 1991, 1995)。いずれにしても、衝突前を含めた衝突事象全体の文脈の中で衝突後の運動情報を利用する方略であるのに対し、就学前児童が用いる Final Speed Hypothesis は衝突後の運動情報を利用する点では前二者の方略と変わらないが、衝突前の運動情報なしでも成立する点が決定的に異なる。この点については研究者によっても見解の相違があり、例えば Gilden & Proffitt (1989) は angle/velocity heuristic の使用についての実験的検討の結果、衝突前の運動情報は質量比判断に不必要であると結論づけているが、それに対し Runeson & Vedeler (1993) は彼らの理論および実験手続き上の不備を補完する形で反証実験を行っている。このような議論は、理論上では当然、衝突事象全体を衝突前と衝突後の局面を因果的連鎖の中で関係づける、すなわち因果性知覚の問題とかがかかわっていると考えられ、本研究での成人と就学前児童の質量比判断の相違は、判断の前提条件としての事象の因果性を就学前児童が考慮していないことによるのではないかと、との解釈ができる。そして、その理由としては (1) 因果性知覚そのものの未発達・未熟である (2) 因果性知覚が成立していたとしても質量比判断に利用されない、等を考えることができるだろう。(1) の因果性知覚の発達の程度については、Olum (1956) や Piaget (1958) 等の言語報告を指標とした研究で5~6歳の幼児に因果性知覚の成立が認められていたり、また馴化法や生理的指標を用いた実験では、生後2歳程度までの乳幼児において Agent と Recipient の知覚的分化が認められており、既に因果性知覚の成立が示唆されている (Golinkoff, 1975; Golinkoff & Kerr, 1978; Leslie, 1982, 1984; レビューとして Mandler, 1992)。本実験の被験児となった就学前児童に対しては

因果性知覚の有無を確認してはいないが、少なくとも一部の被験児において衝突にかかわる両対象の力学的関係が理解されていることは、実験1の内省報告の②(「(AgentがRecipientを) 押しているから」) からもうかがうことができる。また、Final Speed Hypothesis や Velocity heuristic 等の方略の使用が報告されている Todd & Warren (1982), Gilden & Proffitt (1989) の実験では、十分に因果性知覚が成立していると考えられる成人を対象としているのであり、これらの点を総合して考えると、(1) (因果性知覚が未発達・未熟である) の理由よりは、(2) (因果性知覚が成立していても観察者の認知・推論系の中で質量比判断とは乖離している) の理由によって成人と就学前児童のパフォーマンスの違いを説明すべきと考えられよう。衝突事象においては知覚可能なさまざまな特性—因果性・自然さ・質量比・弾性—についての研究があり(因果性・自然さ・質量比については「背景」で既述の通り、弾性については Warren, Kim, & Husney, 1987)、それらについて力学的法則性の枠組みから考察する試みについてはさまざまな議論がある(Gilden, 1991; 中村, 1991; Runeson, 1977)。その中では力学的枠組みの有効性が強調される一方でその限界も、理論的にもしくは実験的データから指摘されている。例えば Agent と Recipient の接触がなくても因果性の知覚が報告された Yela (1952) の実験等に代表的に示されるように、力学的法則の枠組みを超えた視点からも因果性知覚を一考する余地があるし、質量比知覚についても、既述のヒューリスティック理論関係の研究(Todd & Warren, 1982; Gilden & Proffitt, 1989)によって力学的法則からの逸脱が示されているとおりである。したがって、因果性知覚と質量比知覚については、両者の共通かつ全面的な基盤としての力学的枠組みを想定することはできないと考えられ、そのプロセスを個別に検討した後に接点を探索する研究アプローチも可能であろう。さらに一方で、Nakamura (1995) は4~6

歳の幼児を対象にした実験で、対象の速度差の情報を衝突という因果関係の文脈で呈示すると、本来衝突後の情報のみに基づくと考えられてきた Final Speed Hypothesis の使用に対応する質量比判断が促進されるという興味深い知見を得ており、衝突事象全体の知覚と使用されるヒューリスティックの関連性について、発達の視点をも含めた検討が望まれる。

また我々の先行研究では、成人被験者が Initial/Final Speed Hypothesis を使用する頻度が高い点についての理由の1つとして、「衝突事象中の Recipient への注意」から説明がなされたが、それに対して本論の実験1の考察では就学前児童の「Agent への注意の高さ」が示唆された。質量比判断のパフォーマンスと直接関連はないかもしれないが、衝突事象における注目対象が発達にともなって Agent から Recipient へと変化している可能性もここで指摘しておきたい。

性別の要因

性差が明らかにみられたのは、小学校低学年のパフォーマンスにおいてのみである。この性差を発達の枠組みの中で捉えようと、前節で指摘した、質量比判断に用いられるヒューリスティックの Final Speed Hypothesis から Initial/Final Speed Hypothesis への移行が小学校低学年の女子では既に完了しているのに対し、男子ではまだ中途段階にある、と解釈できる。前節の考察に基づけば、低学年男子は女子に比べると因果性知覚が未成熟であるか、もしくは因果の知覚印象を質量比判断に利用できるほど認知・推論系が発達していないということが考えられる。また、実験1の考察および前節で注視対象がヒューリスティックの選択に影響する可能性も示唆しておいたが、内省報告によると、低学年男子26名中 Agent に注目していたと回答したのは10名(38%)、Recipient に注目していたと回答したのは8名(31%)で明瞭な差は見られない。低学年女子27名の内省報告

からは「Agent への注目」が12名(44%)、「Recipient への注目」が5名(19%)で、Initial/Final Speed Hypothesis の使用が優勢とされる女子においてむしろ Agent を注視する傾向が見られるほどで、上記の仮説については否定的なデータと言える³⁾。

成人の質量比判断の性差については、女性には Initial/Final Speed Hypothesis の使用に関して安定した傾向が見られるが、男性では条件により (Agent の注視を指示されると) Direction Hypothesis の使用頻度が高くなる結果が我々の先行研究で得られている (Sato, 1995)。知見の解釈として、男性は Direction Hypothesis のようなカテゴリーカルな情報を利用する、いわば悉無的なヒューリスティックに親和性が高い、もしくは課題の要求 (task demand) に敏感である等の指摘がなされたが、これらの仮定的な特性が小学校低学年時から維持されて成人のパフォーマンスにまで反映されているのか、小学校低学年時の質量比判断の傾向を説明するために有効であるのかは明確ではない。この問題に関しては、男女の一般的な認知能力差に関する知見を踏まえての視野の広い考察が望まれる。

・謝辞

本論文の実験1・2の実施にあたり、御協力いただいた宮城県仙台市柏木保育園・仙台市立遠見塚小学校の先生方、児童・生徒の皆さんに心より感謝いたします。

注

- 1) Todd & Warren (1982) の研究は Runeson (1977) の分析を発展させた形で KSD 理論を検証する目的で行われている (p. 326) が、その実験を通して衝突事象の質量比判断に用いられるさまざまな Hypothesis を分類している。彼らの用語 "Hypothesis" は、ヒューリスティックとほぼ同義である。

- 2) 成人 (大学生・大学院生) を対象とした我々の先行研究では, 本論文と同一の実験刺激をコンピュータ (NEC PC-9801RX) で作成し CRT 画面 (NEC PC-KD882) 上に呈示して暗所視条件での観察を被験者に求めている (Sato, 1995 を参照)。
- 3) 小学校高学年 (5 学年) になると, 特定の対象への注視が内省で報告されることは非常に少なくなる。Agent への注視は男子で 12% (4 名/34 名), 女子で 3% (1 名/31 名), Recipient への注視は男子で 15% (5 名/34 名), 女子で 13% (4 名/31 名) しか報告されず, それ以外はほとんど「Agent と Recipient の両方に注目していた」との回答であった。

REFERENCES

- Bingham, G.P. 1987 Kinematic form and scaling: Further investigation on the visual perception of lifted weight. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13, 155-177.
- Cutting, J.E. 1978 Generation of synthetic male and female walkers through manipulation of a biomechanical invariant. *Perception*, 7, 393-405.
- Cutting, J.E. & Kozlowski, L.T. 1977 Recognizing friends by their walk: Gait perception without familiarity cues. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 9, 353-356.
- Ericsson, K.A. & Simon, H.A. 1980 Verbal reports as data. *Psychological Review*, 87, 215-251.
- Gilden, D.L. 1991 On the origins of dynamical awareness. *Psychological Review*, 98, 554-568.
- Gilden, D.L. & Proffitt, D.R. 1989 Understanding collision dynamics. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 372-383.
- Golinkoff, R.M. 1975 Semantic development in infants: the concepts of agent and recipient. *Merrill-Palmer Quarterly*, 21, 181-193.
- Golinkoff, R.M. & Kerr, J.L. 1978 Infant's perception of semantically defined action role changes in filmed events. *Merrill-Palmer Quarterly*, 24, 53-61.
- Johansson, G. 1973 Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception and Psychophysics*, 14, 201-211.
- 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 Observer's sensitivity to dynamic anomalies in collisions. *Perception & Psychophysics*, 42, 275-280.
- Leslie, A.M. 1982 The perception of causality in infants. *Perception*, 11, 173-186.
- Leslie, A.M. 1984 Spatiotemporal contiguity and the perception of causality in infants. *Perception*, 13, 287-305.
- Mandler, J.M. 1992 How to build a baby: II. Conceptual primitives. *Psychological Review*, 99, 587-604.
- Michotte, A. 1963 The perception of causality (T.R. Miles and E. Miles, Trans.). London: Methuen.
- 中村 浩 1991 2 物体の衝突事象知覚研究における力学的枠組の有効性. *心理学評論*, 34, 213-235.
- Nakamura, K. 1995 Young children's judgements of relative mass of two objects in a head-on-collision event. *Perception*, 24, 1189-1200.
- Nisbett, R.E. & Wilson, T.D. 1977 Telling more than we can know: Verbal reports on mental processes. *Psychological Review*, 84, 231-259.
- Olum, V. 1956 Developmental differences in the perception of causality. *American Journal of Psychology*, 69, 417-423.
- Piaget, J. & Lambercier, M. 1958 La causalité perceptive visuelle chez l'enfant et chez l'adulte. *Archive de Psychologie*, 36, 77-201.
- Robertson, S.S. & Suci, G.J. 1980 Event perception by children in the early stages of language production. *Child Development*, 51, 89-96.
- Runeson, S. 1977 On visual perception of dynamic events. Doctoral dissertation, Faculty of Social Sciences, University of Uppsala, Sweden. (cited by Nakamura, 1995)
- Runeson, S. & Vedeler, V. 1993 The indispensability of precollision kinematics in the visual perception of relative mass. *Perception & Psychophysics*, 53, 617-632.
- Sato, T. 1991 Judgement 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 judgements. *Tohoku Psychologica Folia*, 54, 39-52.

- Thinés, G., Costall, A.P., & Butterworth, G. (Eds.)
1991 Michotte's experimental phenomenology of perception. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Todd, J. & Warren, W.H. 1982 Visual perception of relative mass in dynamic events. *Perception*, 11, 325-335.
- Yela, M. 1952 Phenomenal causation at a distance. *Quarterly Journal of Psychology*, 4, 139-154.
- Warren, W.H., Kim, E.E., & Husney, R. 1987 The way the ball bounces: Visual and auditory perception of elasticity and control of the bounce pass. *Perception*, 16, 309-336.