



Title	直観物理学：運動軌道の認知
Author(s)	中島, 義明
Citation	大阪大学人間科学部紀要. 1987, 13, p. 79-107
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/6299">https://doi.org/10.18910/6299</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

# 直観物理学—運動軌道の認知—

中 島 義 明

## 直観物理学—運動軌道の認知—

### 1. 直観物理学

「直観物理学」とは聞き慣れない言葉であるが、日常生活において我々の周辺に生起する物理的事象に対し我々が直観的レベルで反応する内容を指している。野球の試合において高く打ちあげられたボールを外野手がたくみにキャッチする見慣れた場面にしても、そこには、打ち上げられたボールの落下地点を直観的レベルで予測するという反応が内包されている。ビリヤードやゴルフ、テニス、バスケットといった球技においては、選手達は、ボールにいかなる外力を与えるとボールがいかなる軌道を描くのかを直観的に計算し、プレーしているのである。この計算内容は、自然物理学のそれとは必ずしも一致していない。直観物理学における法則と自然物理学における法則との間にはどの程度の差異が存在するのであろうか。かなり異なるのかそれとも本質的に *isomorphism* を仮定出来る程度の差異なのか。

この問題提起は、伝統的な知覚心理学の問題提起と同じである。しかしながら、知覚心理学では、客観的に存在する刺激に対する知覚内容を問題としているのに対し、直観物理学では、必ずしも客観的な刺激の存在を前提としない。我々の有する知識に基づき、心像に対し様々な心的操作がなされた結果としての、言わゆる認知的内容をもその対象としている。

### 2. 情報の統合としての直観物理学

通常、ある反応を発現させるのにかかわる刺激は単一ではなく、複数存在する。我々はこの複数の刺激すなわち手がかりを統合することにより、反応を生起する。ある行動や現象に有効な刺激を決定し、その特性を吟味する「分析」とこれらの変数間のかかわり方を吟味する「統合」とは、心理学的研究の2側面であろうが、従来は、分析に重点を置いた研究が多く見られた。その中で、統合に視標を定めた研究として我々の注意を引くのは、Andersonの一連の研究 (Anderson, 1974, 1981, 1982) である。彼 (1983) によれば、直観物理学は情報の統合 (information integration) という一般的枠組の中でとらえられる。

Anderson (1983) のあげた2つの課題例を見てみよう。図1の上は衝突課題である。もし、振子が図の位置から振動を開始したとすれば、振子Mは球Bに衝突し、球Bは、水平面より角  $\theta_1$  傾斜した面上を転がり上がるであろう。課題は、この時の球Bの到達位置の予測

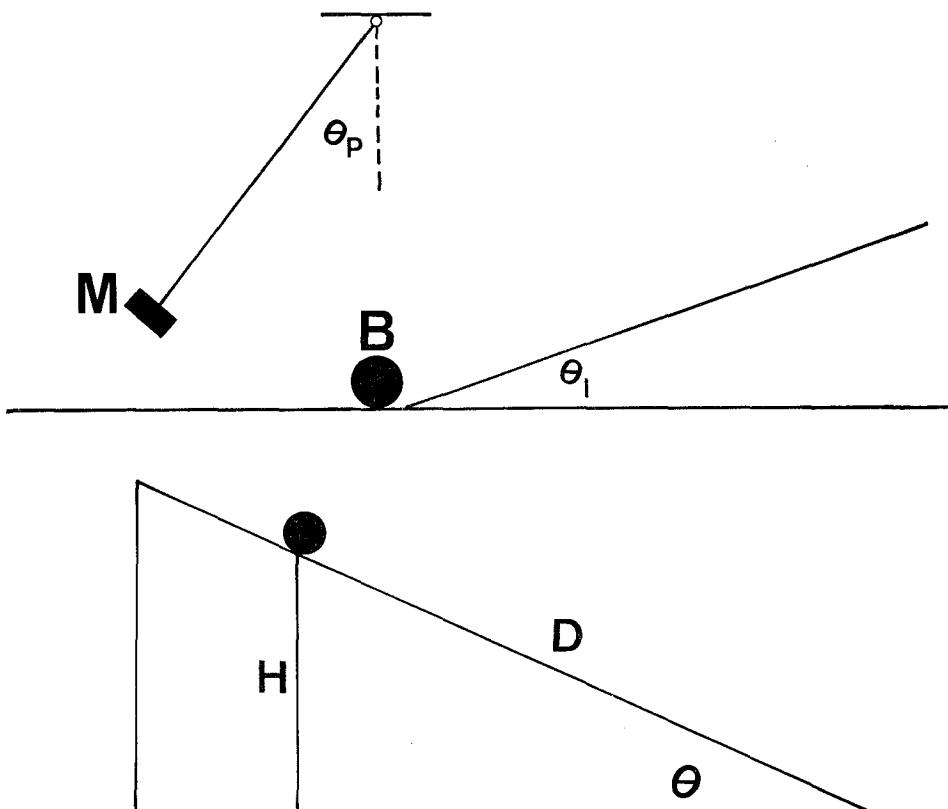


図1 衝突課題と傾斜課題 (Anderson 1983).

である。図1の下はもっと簡単な課題である。角  $\theta$  で傾斜する面上における高さ  $H$  の箇所から球が放たれたとすれば、この球は傾斜面を転がり落ちるであろう。課題は、この時、球が水平面に到達するまでに要する運動時間を予測することである。

第1番目の衝突課題には複数の手がかりがかかるっている。すなわち、(1)振子の振動開始角度 ( $\theta_p$ )、(2)振子  $M$  の質量、(3)球  $B$  の質量、(4)面の傾斜角度 ( $\theta_I$ ) である。第2番目の課題の場合には、数はさらに少なくてすむが、同様に複数の手がかりが存在している。すなわち、(1)面の傾斜角 ( $\theta$ )、(2)球の運動距離 ( $D$ ) である。いずれの場合も、課題の正しい解決のためには、これら複数種類の情報を統合する過程が含まれねばならない。我々は、被験者として上のような課題に直面すれば、比較的容易に、求められた予測を直観的に導くことができる。しかし、この予測が導かれる過程すなわち複数の情報が統合されるされ方は、自然物理学の法則に従う内容となっている保証は何もない。それ故、客観的世界における物理的事象に対する法則体系である自然物理学に対し、我々の主観的世界におけるこれらの物理的事象に対する法則体系すなわち直観物理学が仮定され、吟味されることになる。筆者には、そ

の内容からして、「直観物理学」よりも「精神物理学」の名称の方が適切にも思われるが、「精神物理学」は、伝統的に特定の意味を有する用語として既に用いられてきているので、Anderson に従い「直観物理学」の名称を使用することとした。

直観物理学の成立にとって経験はその母体である。幼児からの経験を経て情報を統合する様式が形成される。それ故、直観物理学の内容は発達的に変化する。

### 3. 実験例：振子一球衝突課題

Anderson (1983) による前出の図1の2種の実験の内、より複雑な方の衝突課題につきその結果をみてみよう。この実験は論文に発表されている様子がないので、手続等詳細な説明に欠ける所があるが、Anderson (1983)に基づいて述べることにする。この実験の課題は振子により打ち動かされた球が傾斜面をどの程度登るかを予測することであった。この実験では、4種の独立変数が設定されている。すなわち(1)実際の球の動きを観察する前に行なった予測と、観察した後に行なった予測、(2)球が重い場合と軽い場合、(3)振子が重い場合と中位の重さの場合と、軽い場合、(4)振子の振動開始位置4種類( $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$ )である。この内、(3)の変数の3変化ステップと(4)の変数の4変化ステップをかけ合わせた12ケースの衝突を1シリーズとして、(2)の変数である球の重い場合と軽い場合のそれぞれについて(1)の変数の効果を吟味している。全被験者に対して、インストラクションの際に1回だけ実際に振子により球を動かすことをしてみせているらしい。従って、(1)の「実際の球の動きを観察する前に行った予測」の条件においてもこのインストラクション時の1回の観察は経験していることになる。他方、「実際の球の動きを観察した後に行った予測」では、被験者は、インストラクション時の1回の観察に加え、前出の(3)と(4)の変数をかけ合わせた12種類の衝突ケース全てを観察し、さらにその上、6種類の衝突を好きに選び出し再度観察することを許された。被験者が行なう予測は、傾斜面上の位置を指し示すことにより行われ、傾斜面の下端からこの位置までの距離がスケールにより測定されたらしい。被験者は8人の大学生で、上述の4種類の独立変数はすべて被験者内変数として設定されたと思われる。結果は図2のようになっている。各変数別に見てみよう。

#### (1) 実際の球の運動の観察前か観察後かという変数：

この変数の効果は顕著である。一連の実際の球の運動を観察した後に行われた予測実験の結果は、観察前の予測実験の結果に比べ、重い球の場合も、軽い球の場合も、実際の物理的距離により近似した内容となっている。特に軽い球の場合にこの傾向は著しい。

#### (2) 球の重さの変数：

(1)の観察前条件において、球が軽い時の方が重い時よりも曲線が立っている。

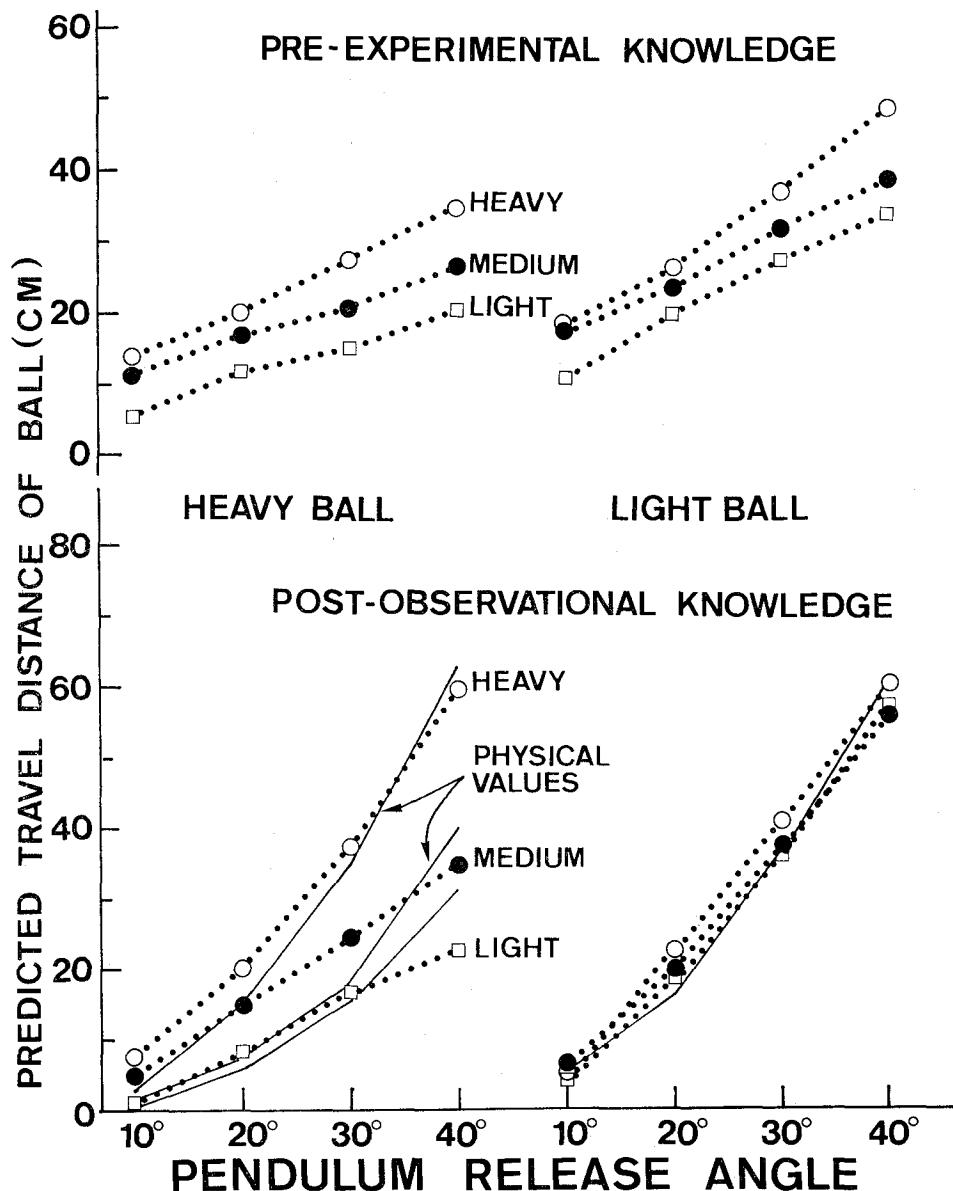


図2 振子一球衝突課題の結果 (Anderson, 1983)

(3) 振子の重さの変数：

(1)の観察前条件において、振子の重さを異ならせる3本の曲線の間隔が、物理的な場合の曲線に比べ、より等しくなっている。この傾向は、(1)の観察後条件の重い球の場合に、より顕著である。3種の振子の重さ「重い」、「中位」、「軽い」の操作内容が不明なので、断言す

るのには問題が残るが、上の傾向は、物理的な場合に比べ、直観レベルでは、振子の重さの効果が上り、線型的になっている可能性を示唆している。

#### 4. 日本における実験データ

この種の課題に対し、我が国の人々がいかなる反応をするのかのデータは、今までのところ、筆者の知る限り存在しない。そこで、第1には、純粹に我が国の成人の結果に対する興味から、第2に、直観物理学の内容は理論的には文化的背景の影響を受け得るが、日米間ではこの点いかなるものであるかを吟味するため、筆者はこの種のいくつかの課題につき描画式調査実験を試みた。

##### 4.1 手 続 き

簡単な力学的知識を要する、運動もしくは落下の事態に関する図3～図14までの12課題が、諸論文から選択された。B5の用紙1枚に1課題ずつ印刷された冊子が用意され、被験者に対する提示順序の効果を除去するために、冊子ごとにとじる順序をランダムにした。集団式実験事態が使われ、課題遂行のペースは被験者の手にゆだねられた。しかしながらできるだけはやくすべての課題を行なうという制約が課され、この制約の徹底のため、12課題全てを行うのに要した時間を被験者が各自の腕時計で測定し所定箇所に記入することが求められた。課題遂行中に、すでにめくった前のページの記入内容を直すことはもちろんのこと、めくって見ることも禁じられた。また、課題にどう答えて良いか分からぬ時は、もっとも良いと思われる推測に基づき記入し、必ず全課題を行なうよう教示された。12課題に対する作業の終了後、冊子の最後にとじられた質問紙に答えることが求められた。その内容は、今までに行った「力学」の学習に関する質問と、全体を通じての解答に対する自信度及び正答率の推測を行わせることであった。なお、解答に対する自信度は、各課題についても、それぞれのページで問われ、1.非常に自信がない、2.自信がない、3.中くらい、4.自信がある、5.非常に自信がある、の5カテゴリーからいずれか1つを選択する形式がとられた。

図3～図14までの各課題に付された説明文は以下のようであった。

課題1：下の絵は金属製の筒を上から描いたものです。この筒の矢印の端から金属球が挿入され、他の端から高速で発射されます。筒を出てから後の金属球のたどる軌道を記入して下さい。なお、空気抵抗は無いものとします。また、金属球は筒の中すべてを同じ速度で運動するものとします。（図3）

課題2：課題1と同文。（図4）

課題3：下の絵は2本の金属性の筒を上から見て描いたものです。それぞれの筒の矢印の

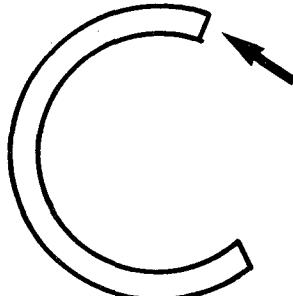
上から見た図

図3 課題1：C型筒一金属球の問題 (McCloskey et al., 1981)

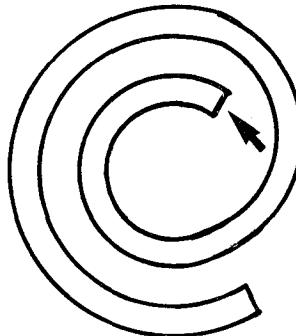
上から見た図

図4 課題2：渦巻型筒一金属球の問題 (McCloskey et al., 1980)

端から金属球が挿入され、それぞれの筒の他の端から高速で発射されます。筒を出てから後の両者の金属球のたどる軌道を記入して下さい。なお、空気抵抗は無いものとします。また、金属球は筒の中すべてを同じ速度で運動するものとします。 (図5)

課題4：下の絵は、ひもに金属球を取り付け、頭上で円を描くように高速でぐるぐる回転させているところを上から見て描いたものです。円は金属球の描く軌道を表し、矢印は運動方向を示しています。円の中心と金属球とを結ぶ線分はひもを表しています。ぐるぐる回転する金属球が下の絵に示されている地点に来たところ、ひもが金属球の取り付け箇所で切れてしまいました。ひもが切れた後に金属球がたどる軌道を描いて下さい。なお、空気抵抗はないものとします。 (図6)

課題5：この絵は、人が水平面上を一定の適度な速度で歩いている姿を、側面から描いたものです。この人は、肩の高さに腕を伸ばしており、手に金属球を握っています。図に示さ

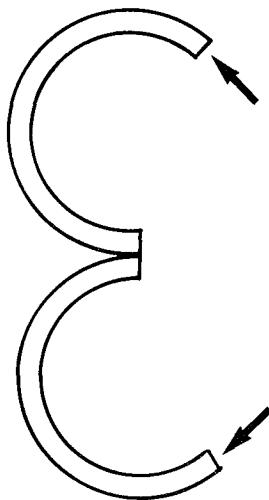
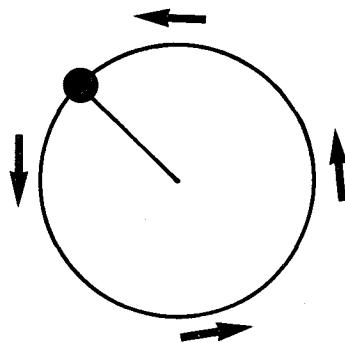
上から見た図図5 課題3： $\omega$ 型筒—金属球の問題 (McCloskey et al., 1980)上から見た図

図6 課題4：ハンマー投げタイプの問題 (McCloskey et al., 1980)

れた位置に到達した際に、この人は金属球を落としました。すなわち、歩きながら金属球を握る手を単に開くだけで球を落下させたわけです。金属球を落下させた後も、この人は、肩の高さに腕を伸ばしたまま、同じ速度で歩き続けました。なお、空気抵抗は無いものとします。(1)金属球の地上における落下点に印をつけて下さい。(2)落下する際に、この金属球がたどる軌道を描いて下さい。(3)金属球が地面にぶつかった瞬間ににおけるこの人の手の位置を×印で記入して下さい。 (図7)

課題6：この絵はコンベヤー・ベルト（ベルトによる運搬装置）がわたされている峡谷を

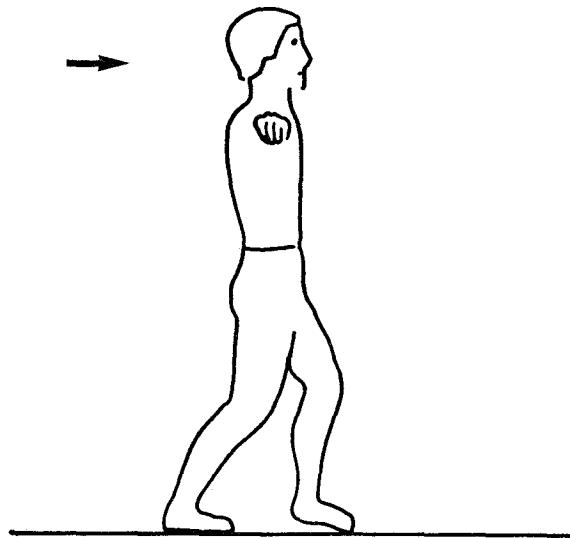
横から見た図

図7 課題5：歩く人一球の問題 (McCloskey et al., 1983)

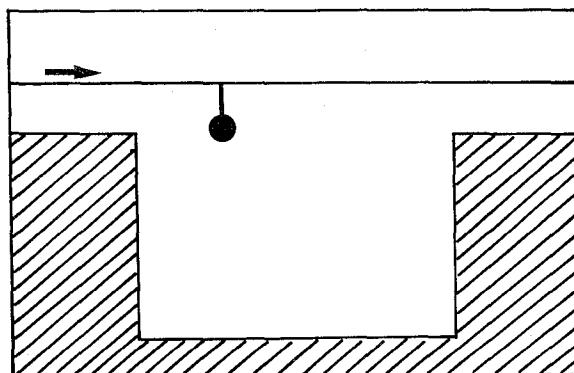
横から見た図

図8 課題6：コンベヤー一球の問題 (McCloskey et al., 1983)

表しています。このコンベヤーには、金属棒が取り付けられており、その先端に電磁石によって金属球がくっついています。このコンベヤーは、時速約50mで動いていますので、金属球のくっついた棒も同じ速度で運ばれています。金属球が図に示された位置に到達した際に、電磁石が切られたため、動くコンベヤーから金属球が落下しました。この時、金属球がたどる軌道を描いて下さい。なお、空気抵抗は無いものとします。 (図8)

課題7：下の絵は、峡谷の一端からこの峡谷上に張り出した水平な誘導路を、側面から描いたものです。金属球がこの誘導路の上を時速約50mでころがされ、谷に落下しました。この時金属球が描く軌道を記入して下さい。なお、誘導路上の摩擦抵抗も空気抵抗も無いものとします。（図9）

課題8：下の絵は、ひもで金属球をつり下げ、振子運動をさせた時を描いたものです。図に示された位置でひもが切れてしましました。ひもが切れた後に金属球がたどる軌道を記入して下さい。なお、空気抵抗は無いものとします。（図10）

課題9, 10, 11：課題8と同文（図11, 12, 13）

課題12：宇宙空間を、ロケットが、エンジンを切ったままで、横向きに、A点からB点へ

横から見た図

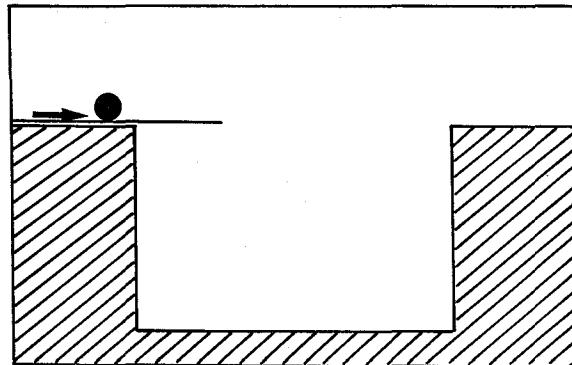


図9 課題7：誘導路一球の問題 (McCloskey et al., 1983)

横から見た図

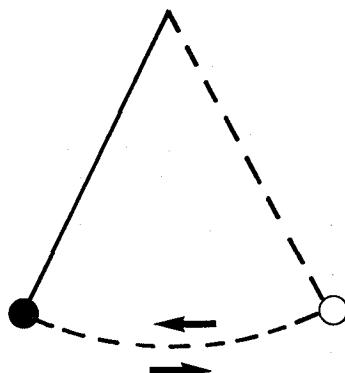


図10 課題8：振子の問題 (Caramazza et al., 1981)

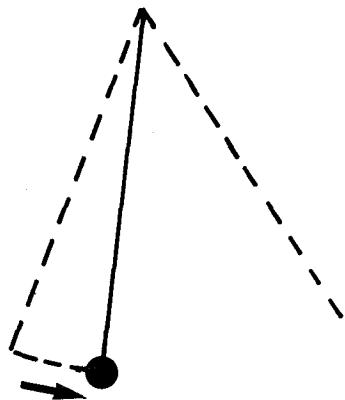
横から見た図

図11 課題9：振子の問題 (Caramazza et al., 1981)

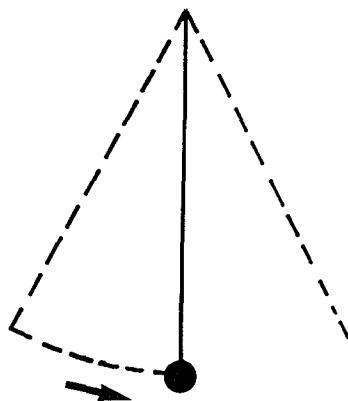
横から見た図

図12 課題10：振子の問題 (Caramazza et al., 1981)

と動いています。近くにはいかなる惑星もなく、従ってこのロケットにはいかなる外力も作用していません。B点で2秒間だけエンジンが運転され、ロケットはB点からC点へと移動しました。(1)B点からC点へ移動する際のロケットの軌道を描いて下さい。(2)C点でエンジンが止められた後のロケットの軌道を描いて下さい。 (図14)

## 4.2 被験者

関西地区の短大（1箇所）の男子学生69名と、同様に関西地区の医療専門学校（2箇所）

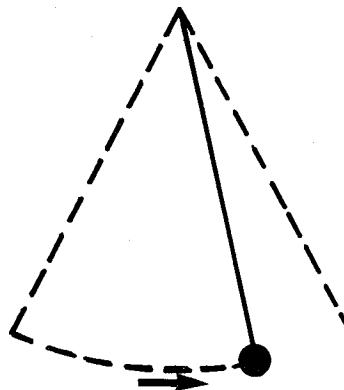
横から見た図

図13 課題11：振子の問題 (Caramazza et al., 1981)

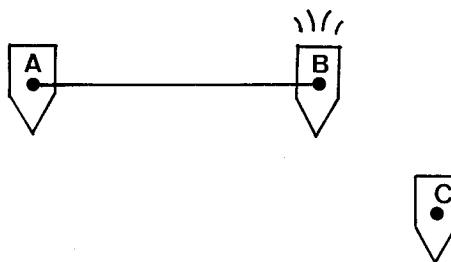
上から見た図

図14 課題12：ロケットの問題 (Clement, 1982)

の男子学生50名と女子学生60名、合計179名。

## 4.3 結果及び考察

結果の処理は、この種のデータに対する常道として被験者が描画した軌道をいくつかの類型に分類することにより行った。以下課題別にみてみることにする。

## 課題1：C型筒—金属球の問題

類型の種類とそれらに対する反応率(%)を図15及び表1に示す。類型Cが自然物理学の法則に従った正解である。A, Bはいずれも筒の外側方向に向かう軌道であるが、Aは湾曲しており、Bは直線である。D, E, Fはいずれも筒の内側方向に向かう軌道であるが、Dは直線、Eはゆるい湾曲、Fはきつい湾曲を示す場合である。反応率をみると、正解のCが43.18%と高率を示しているが、筒の内側へ向う力の存続を示すD, E, Fの反応も、3類

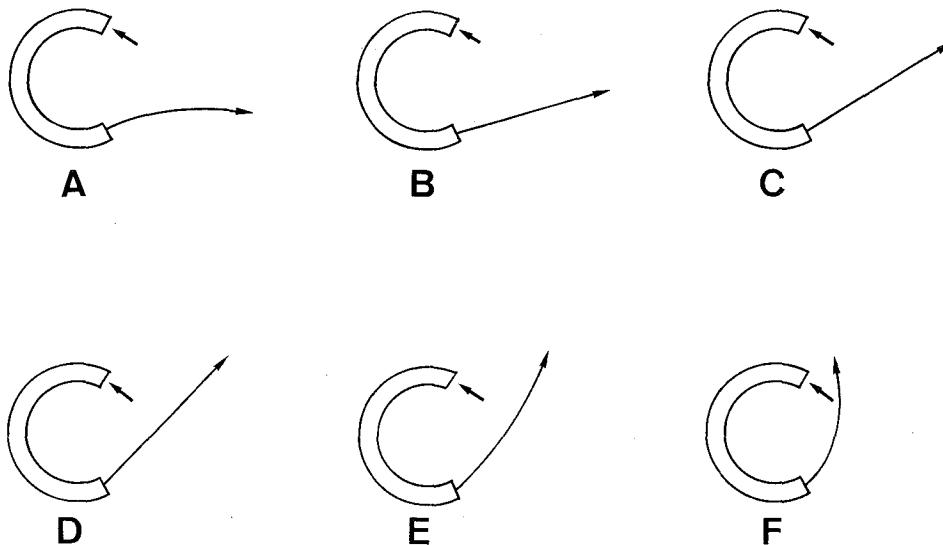


図15 課題1：C型筒一金属球の問題における反応類型

表1 課題1：C型筒一金属球の問題の結果

類型	A	B	C	D	E	F	その他
%	3.41	2.84	43.18	2.84	12.50	11.93	23.30

型合わせると27.27%となり被験者の約4分の1を占める。直観レベルでは、物体があるタイプの運動をいったんさせられると、このタイプの運動が維持されるような力が働き続けるという傾向が存在することを示唆する結果となっている。McCloskey, Caramazza, & Green (1980) の Johns Hopkins 大学の学生に対する結果では、この割合は約3分の1であったから、我々の結果の方がやや小さな割合とはなっているが、大勢は同様のものとなっている。「その他」の反応が23.3%もあるが、筒の位置を「上から見た図」のかわりに「横から見た図」として理解した可能性をその描画内容から容易に推測できる者がかなりおり、その割合は全体に対し15.91%にのぼっている。これらは前出A～Fの反応内容に加え、軌道の後方に「へ」の字のように運動方向を異ならせる終端部分が付加されているタイプである。その部分は、それまでの筒を出る際の外力に対し、重力の効果が及んでいる部分が加えられていると解釈すると良く理解できる。そして、重力の効果がこの種の軌道パターンとして描画できるのは、問題の筒を横から見た図と考えた場合に限られる。そこで、この終端部分を除き軌道の前半部分でいかなる内容となっていたかを見るとA～Fの6種類に分類できる。この結果を表1に加算したものが表2である。これでみるとCの正解は約半数となり、D, E, Fの合計は33.52%となり、全体の約3分の1となる。この値は Johns Hopkins

表2 表1の「その他」を再分類した結果

類型	A	B	C	D	E	F	その他
%	3.98	3.98	51.13	3.41	16.48	13.63	7.39

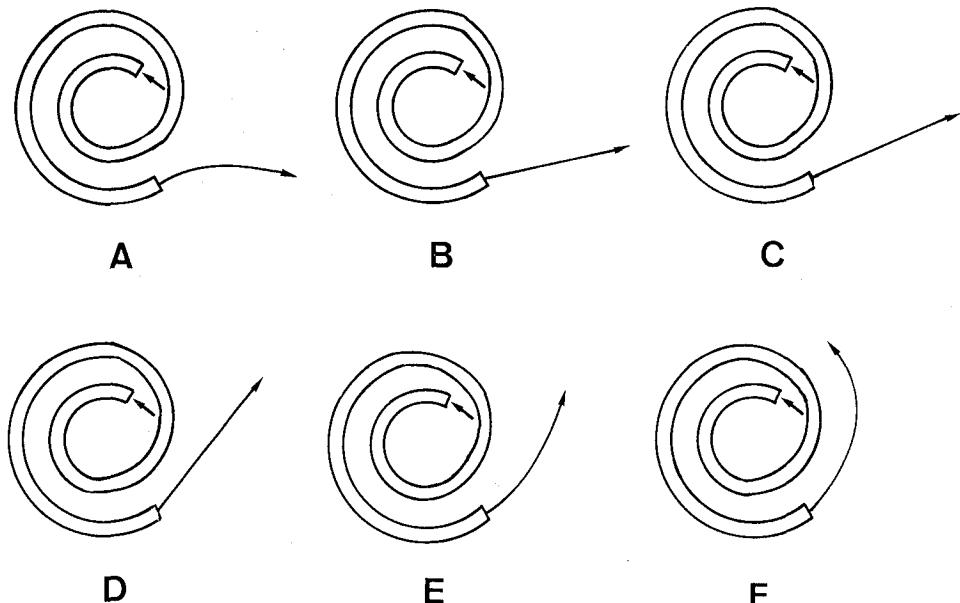


図16 課題2：渦巻型筒一金属球の問題における反応類型

表3 課題2：渦巻型筒一金属球の問題における反応類型

類型	A	B	C	D	E	F	その他
%	3.98	6.82	40.91	1.70	9.66	17.05	19.89

大学のデータとほぼ等しい。正解の反応率は Johns Hopkins 大学の方が 67% と高い値を示している。しかし、Johns Hopkins 大学のデータは、我々のように、A, B の類型を設けておらず、直線軌道型と内側への湾曲の 2 類型に分類している。そこで、我々のデータをあえてこの 2 類型に分類しなおすと、1 つのまとめ方として、A, B, C, D を直線型、E, F を内側への湾曲型と考えることができる。この時には、直線型が 62.5%，内側への湾曲型が 30.11% となり、ほぼ Johns Hopkins 大学のデータと同様の内容となる。

#### 課題2：渦巻型筒一金属球の問題

類型の種類とそれらに対する反応率(%)を図16及び表3に示す。この課題は課題1の筒を 2 つ接合した状況を用いている。正解である C は 40.91% であり、湾曲及び直線の差異はあ

るが、内側方向へ向かう軌道D, E, Fの合計は28.41%となる。Johns Hopkins 大学のデータでは前者が47%，後者が51%であるから、これらに比べ、我々の結果はいずれも低い割合となっている。その他が19.81%と大きな値を示しているが、これは課題1の時と同様、「上から見た図」のかわりに「横から見た図」として理解したと思われる反応が多いいためである。そこでこのケースにつき、軌道前半部の内容で A～F の 6 類型に分類しなおし、この結果を表3のA～Fに加算したものが表4である。正解であるCは48.3%となり、Johns Hopkins 大学における値まで近付くが内側方向へ向かう軌道である D, E, F の合計は 31.25%とあまり増加していない。しかし、この課題2においても全体の約3分の1が筒の湾曲方向への軌道の変位を示しているのである。

### 課題3： $\omega$ 型筒一金属球の問題

類型の種類とそれらに対する反応率(%)を図17及び表5に示す。この課題は、課題1の筒を2つ接合した状況を用いている。正解であるC型は41.48%，内側方向への変位軌道であ

表4 表3の「その他」を再分類した結果

類型	A	B	C	D	E	F	その他
%	3.98	9.09	48.3	1.70	11.36	18.19	7.39

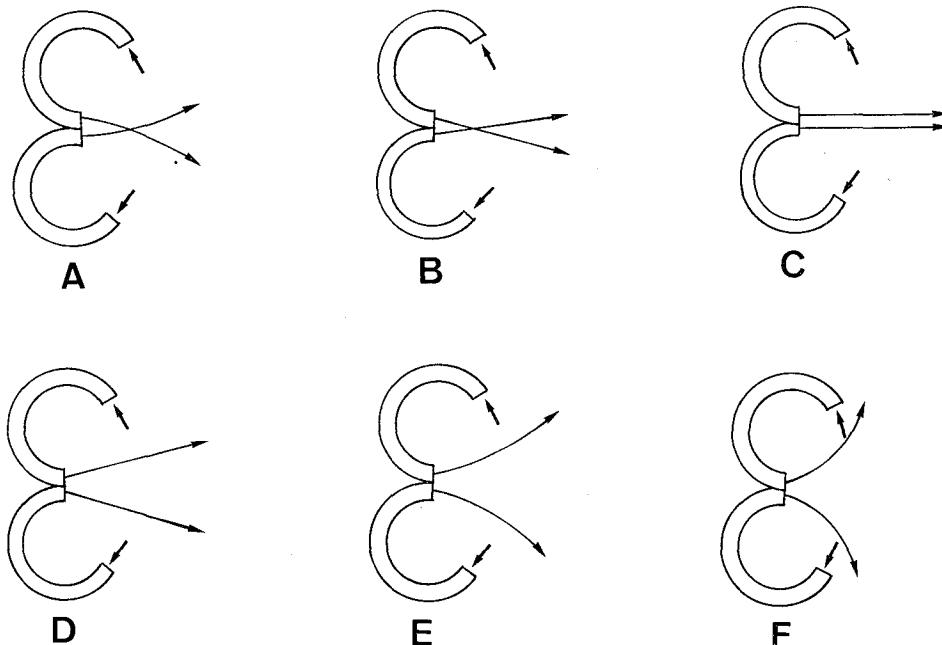


図17 課題3： $\omega$ 型筒一金属球の問題における反応類型

表5 課題3： $\omega$ 型筒—金属球の問題の結果

類型	A	B	C	D	E	F	その他
%	1.14	9.09	41.48	1.70	4.55	11.93	30.11

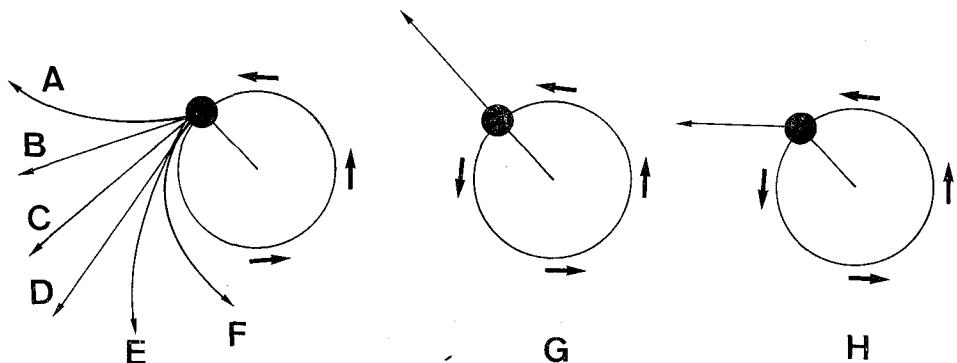


図18 課題4：ハンマー投げタイプの問題における反応類型

表6 課題4：ハンマー投げタイプの問題の結果

類型	A	B	C	D	E	F	G	H	その他
%	2.26	8.47	46.89	5.08	5.65	12.99	10.73	1.13	6.78

るD, E, Fの合計は18.18%となっている。Johns Hopkins 大学の場合は前者が68%, 後者が30%であるから、我々の場合に比べかなり高い値となっている。我々の結果では反応が多様的であり、上の2類型以外にその他の30.11%とBの9.09%とが目立つ。A, Bは2つの軌道が交差するタイプであり、筒の湾曲方向と反対方向への運動を示している。筒の湾曲方向への変位軌道に比べれば割合は小さいとはいえる、全く逆の傾向であるこのタイプが全体の1割を占めることは興味をひく。

#### 課題4：ハンマー投げタイプの問題

類型の種類とそれらに対する反応率(%)を図18及び表6に示す。正解であるCは46.89%と約半分を占める。Cは接線方向を示すが、これより円に近付く軌道すなわち円の湾曲方向へ軌道が変位しているタイプD, E, Fの合計は23.72%となる。円の中心と球を結ぶ直線上の軌道を示すGが10.73%と約1割を占め、CとGの中間型であるHは1.13%と少ない出現となっている。Johns Hopkins 大学の場合では、Cが53%, 接線より内側への湾曲が30%, Gが6%, Hが6%となっている。GとHの出現の仕方が我々の場合とは少し異なっているように思われる。

## 課題5：歩く人一球の問題

類型の種類とそれらに対する反応率(%)を図19及び表7に示す。水平方向の力と重力の合成により正解はAとなるが、この軌道を描いた者は32.57%と全体の約3分の1を占める。腕の真下へ落下する軌道であるBを示した者は45.71%と全体の半数近くを占める。後方への軌道も4.57%出現している。その他の17.14%の中味を吟味すると、Aの歩行方向への放物線軌道のかわりに歩行方向への斜線軌道、Cの後方への放物線軌道のかわりに後方への斜線軌道、Bの腕の真下の垂直線軌道のかわりにわずかに前後にずれた斜線軌道、全くのその他の4種のタイプに分けられる。そこで、あらためてA、B、Cの比率を算出し直すと、Aは34.86%，Bは50.28%，Cは5.14%，その他は6.86%となった(表8)。McCloskey, Washburn and Felch (1983) の Johns Hopkins 大学の場合はAが45%，Bが49%，Cが6%となっている。我々の場合、Aが低い値となっているのが目立つ。

この問題で、半数もの人が腕の真下に球が落下すると考えていることは大変興味深い。一般的に言えば、物の動き方は何を基準にしてでの動き方かでその内容は大きく変わる。Rubin のデモンストレーションとして有名な車輪上の光点がサイクロイドを描くことから、車軸上に基準となる光点を取り付けることにより回転運動へと変わることは、この良い例である。もう1つ例をあげよう。列車の上で手に持った球をはなす時、列車を基準にすればす

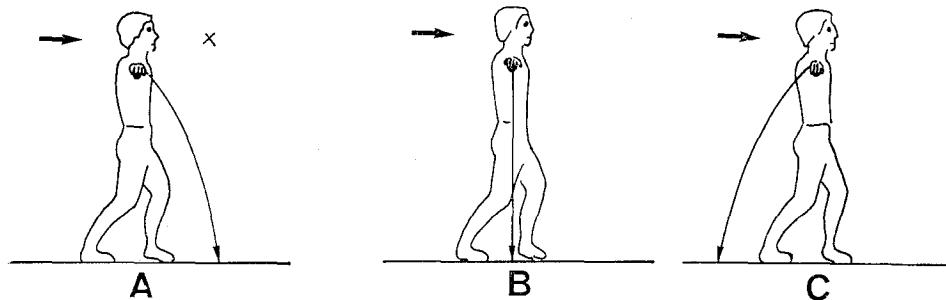


図19 課題5：歩く人一球の問題における軌道の反応類型

表7 課題5：歩く人一球の問題における軌道の結果

類型	A	B	C	その他
%	32.57	45.71	4.57	17.14

表8 表7の「その他」を再分類した結果

類型	A	B	C	その他
%	34.86	50.28	5.14	6.86

なむち、列車に乗っている人々の目には、球の動きは腕の真下への落下運動となろう。しかし大地に立ってこの列車を見ている人の目には列車の進行方向へ向かう放物線を描く落下運動となろう。この事態は我々の問題と全く同じ条件にある。球を持った人間が我々自身であれば、すなむち観察者であれば、我々自身が基準となることから、身体の水平方向の動きは、対象の動きの知覚に関与してこない。それ故、動く人である我々の目には、球は腕の真下に落下するように見える。他方、握った手をはなし球を落下させる第三者を我々が観察する場合には、歩く人の身体ではなく、大地や周辺の木々といったものが基準となろうから、歩く人によってもたらされている水平運動成分も物の動きに関与することになる。それ故、この水平運動成分と、重力による運動成分とが結合し、歩く方向へ向けての放物線軌道が認められるわけである。この点、出現比率は低いけれども、歩く人の後方へ向けての軌道はいかに解釈できようか。我々が机を押す時には、同じ力でもって机からの反作用を受ける。Cの反応は、種々の状況における作用、反作用の経験が汎化した結果と考えられまいか。歩く人の手に握られ動いていた球が、この人の手を離れると共に反作用を受けて後方への力が出現するという誤ったイメージに基づき描かれた軌道と推測できないだろうか。

#### 課題 6：コンベヤー—球の問題

この問題は内容的には課題 5 と全く同じである。ただ、歩く人が球を持つかわりに、峡谷にわたされた動くコンベヤーに球がつるされている点が異なっているにすぎない。課題 5 で考察されたように、真下への落下軌道は歩く人の目から見た軌道である。手に持った球が落下する状態の観察は、日常経験上、自分で球を落して観察する場合が、第三者のそれを観察

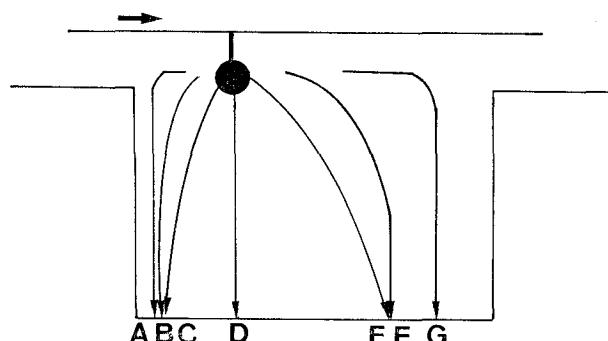


図20 課題 6：コンベヤー—球の問題における反応類型

表9 課題 6：コンベヤー—球の問題の結果

類型	A	B	C	D	E	F	G	その他
%	0.56	1.69	0.56	32.77	35.03	14.69	0.56	14.12

表10 表9を再分類した結果

類型	前方型	直下型	後方型	その他
%	57.62	32.77	6.76	2.82

するより多いと考えられる。この時、立ち止まっている場合は言うまでもなく、歩きながらの場合にも球は真下に落ちて見える。この経験から、歩く人間が球を落とす状況においては、歩く人間の目からの観察と歩く人間とは別の第三者の目からの観察とが混同・同一化され、直観レベルでは直下軌道型の反応が出現することが考えられる。そこで、もし歩く人のかわりに動くコンベヤーを用いた時には、上述の混同・同一化の程度が減じることが期待され得る。反応類型の種類とそれらに対する反応率(%)を図20及び表9に示す。正解はEであろうが、F, Gもその variation と考えられるので、E, F, Gを合併すると50.28%となる。直下型はDの32.77%で、後方型A, B, Cの合計は2.81%となる。その他は14.12%となっているがこの内容を見ると前方への斜軌道、後方への斜軌道、全くのその他に分類できるので、前方型、後方型へ分類し直すと、前方型は57.62%，直下型は変わらず32.77%，後方型は6.76%，その他は2.82%となる(表10)。課題5の時と比較すると、我々が推測したように、直下型が減少し、前方型が増加している。Johns Hopkins 大学の場合はさらに顕著に変化し、コンベヤー型の問題では、直下型は23%，前方型は65%，後方型は13%となっている。

#### 課題7：誘導路一球の問題

この問題も課題6と同様に歩く人を用いないで水平方向の運動を設定したものである。すなわち、誘導路をころがせるということにより、球に水平方向の運動成分を生起させている事態である。この事態では球と共に運動する物は何もない。前課題においては、コンベヤーベルトと、マグネットにより先端に球をはりつけこのコンベヤーベルトに結合されている垂直棒とは、球と共に水平方向に運動をしている。この事態では、その可能性は、歩く人の場合に比べ、相当程度減少してはいようが、なお、基準となり得るものとして、峡谷や木々の静止物のほかに、球と共に動くロープや棒が存在した。しかし、この誘導路の場合には、誘導路自体は運動をしないので、誘導路、峡谷、木々みな一体となり静止している1つの基準を出現させよう。また、物が机上を滑べりあるいはころがり、端から落下する様子をなめることは、日常生活において比較的頻繁に存在しようから、この課題の場合には、課題6の結果よりも、より正反応が高い割合を占めることが期待され得る。

反応類型の種類とそれらに対する反応率(%)を図21及び表11に示す。正解はAであろうが、B, Cもその variation と考えられるので、これらを合併すると79.09%となる。その他の3.95%の内容を吟味すると前方への斜軌道のケースと全くのその他に分類できるので、

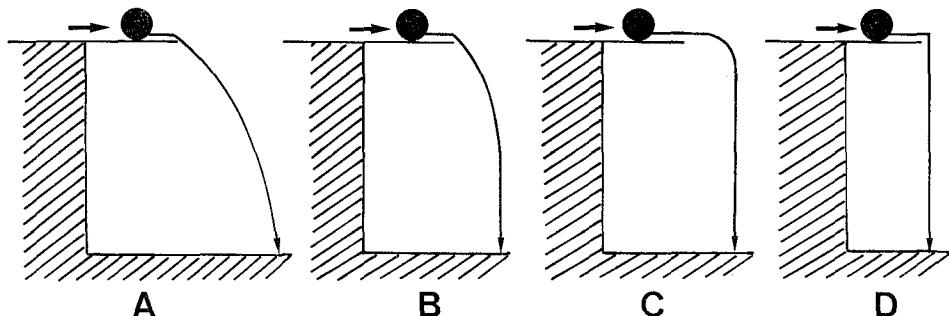


図21 課題7：誘導路一球の問題における反応類型

表11 課題7：誘導路一球の問題の結果

類型	A	B	C	D	その他
%	63.28	12.99	2.82	16.95	3.95

表12 表11を再分類した結果

類型	前方	直下	その他
%	81.91	16.95	1.13

斜軌道を広義の正解である前方型に含めて、分類しなおすと、前方型が81.91%，直下型が16.95%，その他が1.13%となる（表12）。我々が期待したように前方型が圧倒的に多くなっている。Johns Hopkins 大学の場合は、94%が前方型で6%が直下型となっており、前方型の優位は我々の場合より顕著である。

#### 課題8～11：振子の問題

〔課題8〕反応類型の種類とそれらに対する反応率(%)を図22及び表13に示す。正解のAは22.60%であり、Bの方が35.03%とより大きな割合を占めている。Bの反応をした者の中には、課題の提示に用いた図もしくは状況説明の不十分さから、課題の内容を誤解した者も含まれていよう。この課題は、振子が振動の終端に位置している場合を想定しているが、説明文には「図に示された位置でひもが切れてしましました」という記述しかなされておらず、図（図10参照）も必ずしも明瞭にこの点を表現してはいない。すなわち、振動の終端でなく途中に位置する場合としてとらえた者があり得よう。この場合にはBが正解となるから、上述の者の中には、そのためにBの反応をした者もいよう。得られた結果で、他に興味深いのは、つり糸の延長方向への軌道を示すDが1割近くを占めた点であろう。Caramazza, McCloskey and Green (1981) の Johns Hopkins 大学の結果では、Aが32%，Bが32%，

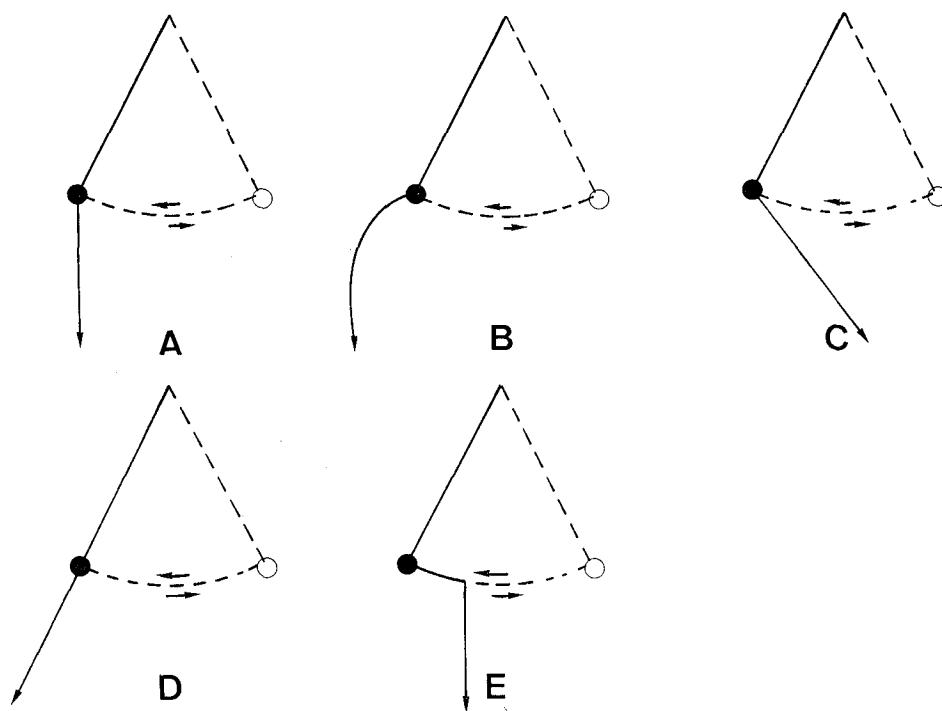


図22 課題8：振子の問題における反応類型

表13 課題8：振子の問題の結果

類型	A	B	C	D	E	その他
%	22.60	35.03	0.00	9.60	0.00	32.77

Cが14%, Dが11%, Eが11%となっている。こちらもDが1割出現している。

〔課題9〕反応類型の種類とそれらに対する反応率(%)を図23及び表14に示す。正解はAもしくはBであろうが、両者を合併すると60.45%となる。Cの前方への斜軌道も広義の正解タイプの反応とすればA, B, Cの合計は74.57%に達する。この課題では、つり糸の延長方向への軌道であるEは2.26%と課題8に比べると低くなっている。Johns Hopkins 大学の場合はA+Bが57%であり、A+B+Cが71%であり、つり糸の延長方向への軌道が11%出現している。

〔課題10〕反応類型の種類とそれらに対する反応率(%)を図24及び表15に示す。正解のAは55.37%となっている。つり糸の延長方向への軌道であるBは14.68%と課題8を上まわっている。Johns Hopkins 大学の場合は、正解のAが25%であり、つり糸の延長方向の軌道が何と64%も出現している。金属球をつり下げている糸が重力方向である鉛直線上に位

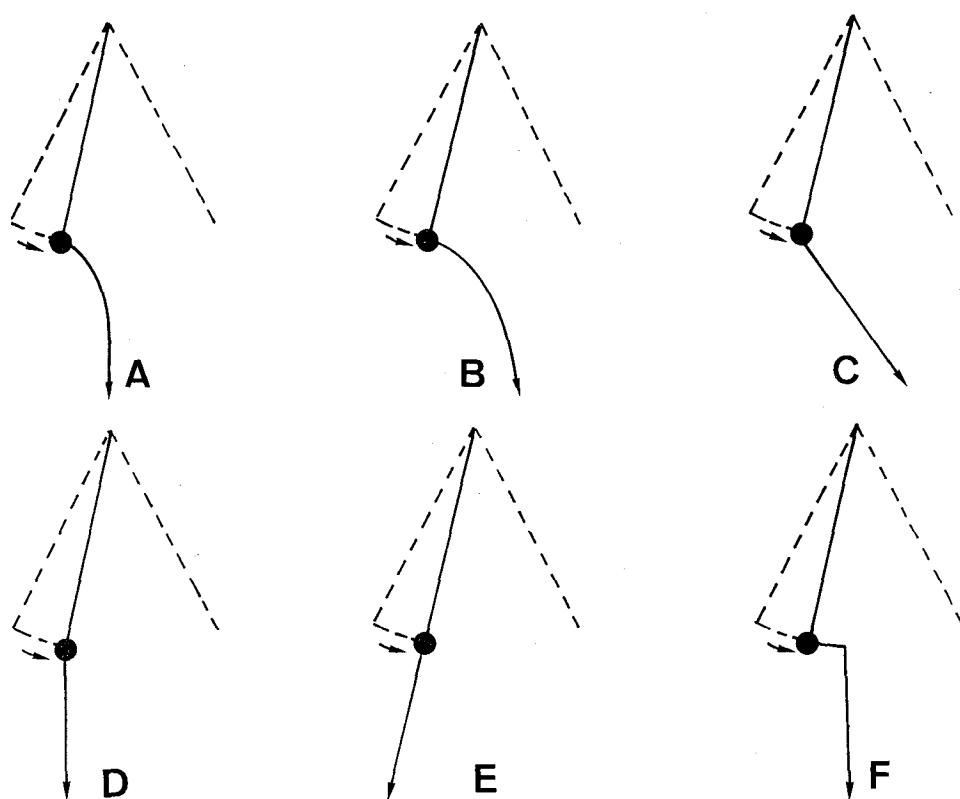


図23 課題9：振子の問題における反応類型

表14 課題9：振子の問題の結果

類型	A	B	C	D	E	F	その他
%	23.73	36.72	14.12	6.78	2.26	0.56	15.82

置していることが、何か特別の効果を直線的レベルで及ぼしているのであろうか。すなわち、この箇所では、球の速度がゼロになると直観されるのであろうか。

〔課題11〕反応類型の種類とそれらに対する反応率(%)を図25及び表16に示す。正解はAもしくはBであろうが、両者を合併すると58.75%となる。つり糸の延長方向への軌道であるCは5.08%と再び減少している。Johns Hopkins 大学の場合は、A+Bが57%であり、つり糸の延長方向の軌道が25%出現している。この場合も、後者の軌道の高い出現率が目立つ。

#### 課題12：ロケットの問題

この課題の結果は、(1)ロケットがB点からC点へ移動する第1部分の軌道と、(2)C点から

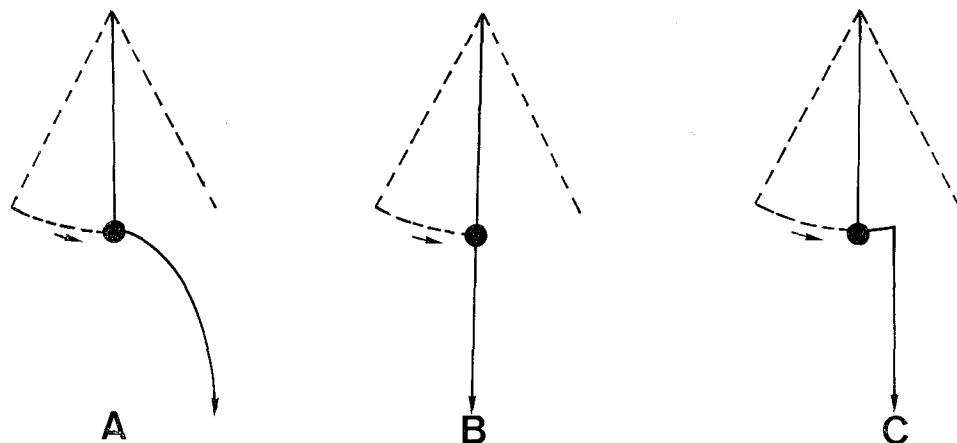


図24 課題10：振子の問題における反応類型

表15 課題10：振子の問題の結果

類型	A	B	C	その他
%	55.37	14.68	1.13	28.81

先の第2部分の軌道、とに分けて分類した。

〔第一部の軌道〕反応類型の種類とそれらに対する反応率(%)を図26及び表17に示す。反応類型の表示とロケットの位置の表示とに、両者共、同じアルファベット文字を用いているが、後者の場合には「点」をつけて区別する。正解であるAは28.81%であり、直線型のBが半数以上の57.06%を占めている。このタイプの反応は、B点でエンジンが点火されC点まで噴射し続けた際、刻々と加速されるのではなく、瞬時に加速が終了し、こうして達したある定速状態をエンジンの噴射力が維持するとの誤った直観内容に基づいた結果と推察される。Clement (1982) の Massachusetts 大学の場合には、89%の者がこの部分の軌道を間違って描画したという。そのパターンがいかなるものかは、上の論文からは明確ではないが、我々と同様に直線型が多数を占めたことが想像される。

〔第二部分の軌道〕反応類型の種類とそれらに対する反応率(%)を図26及び表18に示す。正解であるAは40.11%となっている。この部分の軌道で興味深いのは、水平軌道のCである。33.33%の者がこの反応を示している。このタイプの反応は、エンジンが停止した後の運動を、停止した瞬間の状態が維持されると考えずに、エンジンが点火される前の状態にもどるという誤った直観内容に基づいた結果と推察される。Massachusetts 大学の場合には、41%の高率に達している。

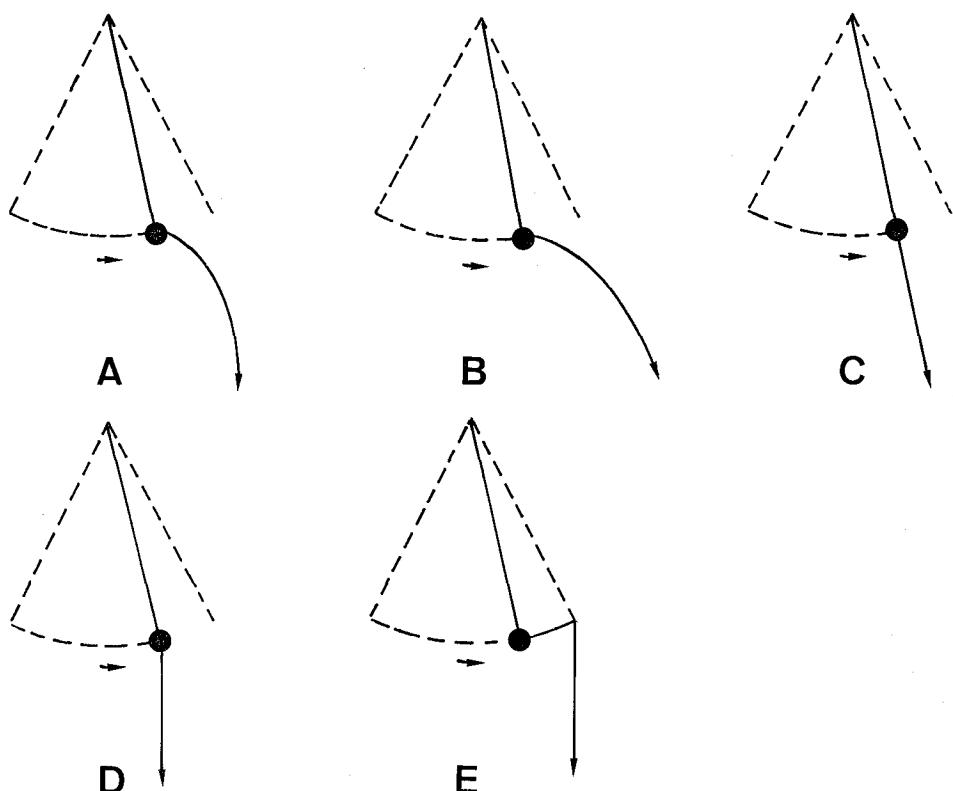


図25 課題11：振子の問題における反応類型

表16 課題11：振子の問題の結果

類型	A	B	C	D	E	その他
%	18.64	40.11	5.08	2.82	1.13	32.20

#### 5.4 総合論議

我々は日常生活において様々な力学的事象を経験している。このような経験から、我々は力と運動の間の関係に対する心的モデルを形成する。本論文では、このような物理学的事象に対する心的モデルを直観物理学と呼び、自然物理学の法則とは異なったところの、従って自然物理学からすれば誤った先入観に基づいて成立した法則が存在すると考えた。

たとえば、我々が経験する現実世界では、摩擦が存在する。そのため、等速運動を維持するためには同一方向における持続的な力が必要である。その結果、我々は、等速運動というものは常にその運動と同一の方向に何か持続的な力を生みだすものであるという先入観を抱

←---PART 1---→

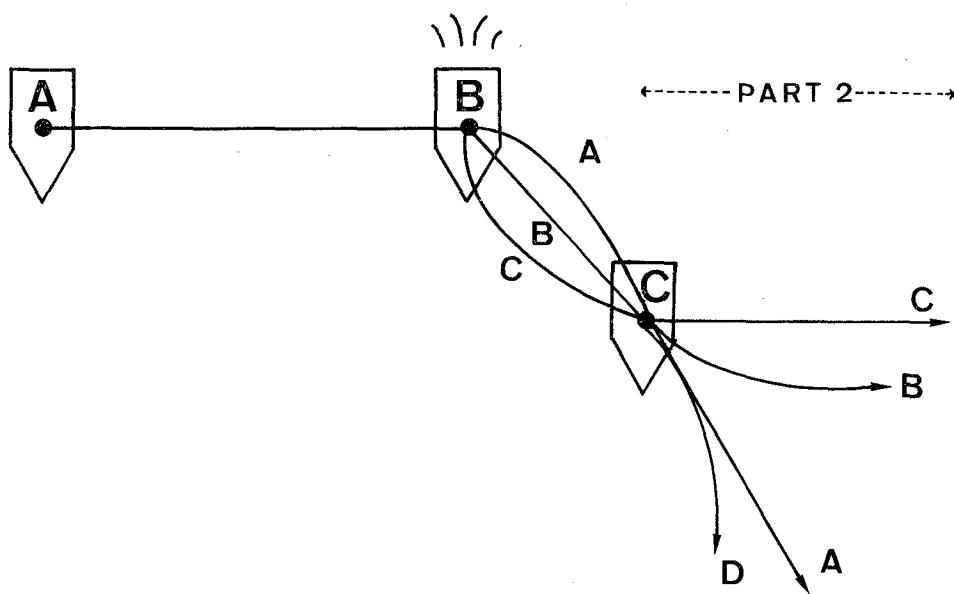


図26 課題12：ロケットの問題における反応類型

表17 課題12：ロケットの問題〔第一部分の軌道〕の結果

類型	A	B	C	その他
%	28.81	57.06	5.65	8.47

表18 課題12：ロケットの問題〔第二部分の軌道〕の結果

類型	A	B	C	D	E	その他
%	40.11	3.39	33.33	2.82	8.47	11.86

きがちである。さらに、この種の先入観がより一般化されると、あるタイプの運動を装置などにより強制的に実行させられた後、この装置的制約がはずされても、依然、前の運動と同一の方向への運動力が持続されるという直観内容が形成されてくる。このことが渦巻状の筒から発射された金属球が、筒から発射された後も渦の方向に湾曲した軌道を描くと多くの人々に思わせ、また、ハンマー投げのごとく、ひもの結ばれ頭上で回転させられている金属球がひもの切れた後も円弧を描くと思わせるのである。

この、日常生活における経験から築かれた直観的な内容は、特定の個人に見られるにすぎないといったものではなく、その基本的部分は多くの人々の間で整合性を有している。このことは、Johns Hopkins 大学や Massachusetts 大学のデータ、そして我々の一連のデータを見れば一目瞭然である。その一般性に我々は驚きの念を禁じ得ない。

共通する特性に対し、個人差を生じさせるいくつかの特性も指摘され得る。たとえば、上述された直観内容すなわちあるタイプの運動を引き起こしていた外力が消失した後にもこの運動が持続するという観念の強さは人によってまちまちである。その結果、渦巻筒から発射された金属球の描く軌道の湾曲の度合は、人によって異なる。また、この持続力は徐々に消失すると考える者もいるであろうし一定のままで維持されると考える者もいよう。その結果、湾曲の度合が徐々にゆるみ直線に近付く軌道を描く者もいようし、比較的きつい湾曲のままの軌道を描く者もいる。さらに、この持続力と重力との相互作用に関する個人差も存在する。ある者は、断崖より延びた誘導路を転がる金属球は誘導路より出ると同時に持続力と重力の両者の運動力の影響を受けて落下すると考える。またある者は、誘導路より金属球が出ると同時に重力のみが有効に作用し、持続力である水平方向の運動力は消失してしまうと考え、直下型の落下軌道を描く。別の者は、持続力である水平方向の運動力は一定時間維持されてから（たとえば、徐々に弱まり）消失し、この持続力が消失して初めて重力が作用すると考え、誘導路より出た金属球がしばらくの間水平運動をそのまま行い、その後に直下型に落下する軌道を描く。重力による運動についても等速度運動と考える者と徐々に加速する運動を考える者との両者が見られる。このことにより、直線型軌道と湾曲型軌道とが分岐していく。

直観物理学は、今のところ、その内容的特性を明らかにしていく過程にある。しかし、次の研究ステップとしては、そのような特性を生じさせる発生メカニズムにアプローチする必要があろう。そのための1つの試みとして、広範囲の年齢の青少年に関し、本研究の如き実験材料を用いて、発達的比較を行うことは、我々に興味深い知見を提供してくれよう。筆者は、現在、この作業を遂行中である。

### 謝　　辞

データ収集にあたり三浦利章助手、赤井誠生院生、橋本幸典院生の協力を、また、データ処理に関し島田博行助手、大鳥紀子事務補佐員の協力を得た。記して謝意を表する。

## 引用文献

- Anderson, N. H. 1974 Information integration theory: A brief survey. In D. H. Krantz, R. C. Atkinson, R. D. Luce, & P. Suppes (Eds.), *Contemporary developments in mathematical psychology. Vol. 2: Measurement, psychophysics, and neural information processing*. San Francisco: Freeman. Pp. 236-305.
- Anderson, N. H. 1981 *Foundations of information integration theory*. New York: Academic Press.
- Anderson, N. H. 1982 *Methods of information integration theory*. New York: Academic Press.
- Anderson, N. H. 1983 Intuitive physics: Understanding and learning of physical relations. In T. J. Tighe, & B. E. Shepp (Eds.), *Perception, cognition, and development: Interactional analyses*. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum Associates. Pp. 231-265.
- Caramazza, A., McCloskey, M., & Green, B. 1981 Naive beliefs in "sophisticated" subjects: Misconceptions about trajectories of objects. *Cognition*, 9, 117-123.
- Clement, J. 1982 Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50, 66-71.
- 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., 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.

## INTUITIVE PHYSICS —COGNITION OF TRAJECTORIES OF MOVING OBJECTS—

Yoshiaki NAKAJIMA

This paper examines the nature of intuitive physics. Intuitive physics is defined as our intuitive knowledge concerning physical events occurring in our daily life. When we prepare to catch a ball flown by a batter in a baseball, we have certain expectations about its trajectory. There are many other sports that require intuitive calculations on expected trajectories, for example, billiards, golf, tennis, badminton, basketball, soccer, football, ping-pong. Without cognitive operations of this kind, we could not adapt ourselves to the environment and survive.

In this paper, the first section referred to the concept of intuitive physics.

The second section discussed intuitive physics as information integration through concrete examples; intuitive physics usually depends on multiple stimulus cues which are integrated into a unitary response.

The third section summarized the typical experiment of this kind which Anderson (1983) made, i.e., “pendulum-ball collision” task.

The fourth section described the results of our experiment designed to investigate the common misconceptions about the motion of objects in simple physical situations, in comparison with the results published in foreign papers.

Twelve pencil-and-paper problems were used (e.g. drawing the trajectory of a falling ball dropped by a walking person). There were many people who had striking misconceptions about the motion of objects. For example, many of our subjects drew a curved trajectory for the ball shot from C-shaped tube. These subjects seemed to believe that while a ball moved through a curved tube the ball acquired some force or impetus to maintain curvilinear motion after it was shot away from the tube. The intuitive beliefs of this kind might have the generality beyond some cultures and some ages.

Therefore, in future research, we must explore the origins of intuitive beliefs. For that purpose, it may be effective to adopt people of all ages, especially young ages, as subjects, using the same experimental materials as those in the present research.