

研究論文

慣性についての高校生の素朴概念に関する教師の認知

中山 迅

宮崎大学教育学部

猿田 祐嗣

国立教育研究所科学教育研究センター

Teacher's Awareness of High School Students' Naive Conceptions about Inertia

Hayashi NAKAYAMA*

*Department of Science Education, Miyazaki University

Yuji SARUTA**

**Research Center for Science Education, National Institute for Educational Research

The purpose of this study is to determine high school teacher's awareness of students' naive conceptions about inertia. The students were asked to solve the "space ship problem". All of them had learned Newton's laws. Seven physics teachers were asked to predict the students' answers. "MIF" conceptions was included in students' answers. The teachers, as a group, identified the students' conceptions. But each teacher missed some conceptions. And they generally tended to estimate student's level of understanding of inertia too high.

Key words: Teachers' awareness, High school students, Naive conception, Law of inertia

I. 目的

自然に対する学習者の解釈や理解は、科学概念に基づく解釈や理解とは、多くの場合に異なっていることが知られている。これらは研究者の立場の違いにより、ミスコンセプション・オルタナティブフレームワーク・素朴理論・子どもの科学などと呼ばれている (Duit, R., 1991)。本研究では、学習者によく見られるこういった「見方・考え方」が、科学の専門家の見方・考え方とは異なったものであるという点に着目して、「素朴概念」という呼び名を用いることにする (堀 哲夫, 1995)。しかし、ここでは、他の名前と呼ばれているものとの違いを、特に論じる意図はない。

Fisher, K. M. は、こういった素朴な概念の特徴を、「ミスコンセプション」という用語を用いながら次のように指摘した (Fisher, K. M., 1985)。

- (1) 専門家の持つ概念とは異なる。
- (2) 多くの人に共有される。

(3) 容易には変化しない。

(4) 科学理論とは別の信念体系を形成している。

ところで、力学における代表的な素朴概念の1つに、Clement, J. の指摘した、“motion implies a force” mis-conception (略称 MIF) がある (Clement, J., 1983)。これは、Scott, P. が “Steady force - steady motion idea” と呼んだものと類似の、非常によく知られた素朴概念である (Scott, P., 1987)。大まかにいえば、「運動中の物体には、必ず運動方向に力が働いている。」という考え方である。この素朴概念は、日常的な感覚に非常によく適合する。日常生活においては、多くの人が摩擦力を「力」として意識しないため、「力が働かない物体は止まる。」「力をおよぼすと動き始める。」「物が動き続けるには、力を加え続けなければならない。」と考えている。

ところが、この考え方はニュートン力学の基本法則である慣性の法則とは相いれないものである。慣性の法則が「力の働かない物体は、静止または等速直線運

動をする。」と主張するのに対して、「MIF 素朴概念」は、「止まっている物体には力は働かない。運動物体には、運動方向への力が働いている。」と主張するのである。つまり、ニュートン力学系の前提となる「慣性の法則」と、日常生活に密着した「MIF 素朴概念」は、自然に対して根本的に違う見方を要求している。

したがって、ニュートン力学にかかわる学習に携わる生徒は、ニュートン力学系の基本概念と、自分の持つ MIF 素朴概念との違いに、どこかで気づくことを暗黙のうちに要求されているのである。もしもそれに気づかなければ、ニュートン力学に関する学習は、日常的な事象とリンクしないままになる運命にある。逆に、日常的な事象とリンクした形でのニュートン力学の学習を期待するならば、学習者の「MIF 素朴概念」は、学習のテーブルにのせられなければならないのである。

このような前提に立って、科学概念にかかわる理科学習を設計しようとするとき、一つのあり方として学習者の概念変容を伴う学習が考えられる。Posner, G. J. らによる概念変容の 4 つの条件 (Posner, G. J., et al, 1982) にあてはめれば、MIF 素朴概念から慣性概念への概念変容学習には次のような過程が考えられる。

- (1) 生徒が自分の MIF 素朴概念に基づく考え方に限界や不満を感じる。
- (2) MIF 素朴概念に代わりうるものとしての慣性概念が、生徒にとって理解可能である。
- (3) 慣性概念は、生徒にとって「もっともらしい」と感じられるものである。
- (4) 慣性概念は、生徒にとって説明力と予測力に富んだ「実りのある」ものである。

このような学習過程を通して、MIF 素朴概念からニュートン力学的な慣性概念へと生徒を導こうとする場合、教師には生徒の素朴概念を熟知して、上述の(1)~(4)の過程を授業に組み込むことが要求される。あるいは、それ以外の教授・学習過程を設計するにしても、生徒の素朴概念について考慮することが不可欠となる。

ところが、Berg, T. らは、理科を教えている高校の教師が、必ずしも回転運動と重力に関する生徒の素朴概念を十分に把握しているわけではないことを指摘している (Berg, T. & Brouwer, W., 1991)。さらに、Kruger, C. らは、イギリスの小学校の教師の多くが、ナショナルカリキュラムで児童に教えることが要求さ

れている力学概念自体を十分に身につけていないことを指摘している (Kruger, C., et al., 1992)。

授業との関連では、Peterson, P. L. は、数学学習における生徒の知識について教師が知ることと、生徒の成績との間に関連を見いだした (Peterson, P. L., 1989)。さらに彼は、生徒について多くの知識をもつ教師は、生徒に問題解決過程について、より多くの質問を行い、生徒の答えに耳をかたむけることを報告している。理科においても、教師が生徒の素朴概念について知っているかどうかは、指導のありかたを左右する大きな要因であると考えられる。

以上から、素朴概念の存在を前提とした授業設計の実現に向けた研究の最初の段階として、次のような課題が存在すると言える。

- ①学習者は、どのような素朴概念を保持しているか。
- ②教師は、学習者の素朴概念をどこまで把握しているか。
- ③教師自身は、どのような素朴概念を保持しているのか。

本研究は、この中の②に位置づけられる。つまり、教師が慣性概念にかかわる学習者の素朴概念をどの程度まで把握しているのかを明らかにすることを目的としたものである。

そこで本研究では、高校生の慣性概念にかかわる素朴概念を、教師がどこまで把握しており、何を見落しているのかを明らかにしようとした。今回は、高校生および高等学校の物理教師を対象として、Clement, J. の “motion implies a force” misconception を中心に調査を行った。慣性の法則の学習が一通り終わった後で調査を実施することで、特に学習後に残る素朴概念に対する把握実態を探ることとした。

II. 方 法

調査には、Clement, J. の、重力を受けない空間における宇宙船の問題を用いた。ただし、問題の一部を手直しした(図 1)。慣性の法則は、摩擦力も含めて一切の力が作用しない状態を想定したものである。また、ニュートンがこの法則を生みだした背景にも天体の運行についての問題意識があった。そこで、この法則がもっとも明解な形で適用される事例として、宇宙船の問題を選んだ。

調査は生徒を対象としたものと、教師を対象としたものからなる。手順としては、まず高校で物理を担当

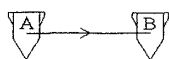
している教師に図1の問題を示し、生徒に回答させた場合にどのような答えが予測されるか列挙してもらった。教師用の質問紙には、生徒に出題する予定の問題(図1)を示し、生徒の回答欄と同じものを多数用意して、生徒の回答として教師が予測する宇宙船の軌跡を複数記入できるようにした。さらに、個々の回答が出現する百分率(%)の予測値もそこに記入するよう要請した。その際の予測の対象として、「教師の所属する地域内の公立の全日制普通科高校で理科Iを学習した後の生徒」を想定するものとした。

教師に対する調査を実施した後に、生徒に対する調査を実施した。用いた問題は、図1に示すものである。回答の後には、その理由も記入するよう求めた。

生徒から得られた回答を、Clement J. の分類基準を参考にして分類した。そして、分類された生徒の回答の百分率と、教師が予測した回答の百分率の比較を行った。

今回の調査対象となった生徒は、広島県の公立の全日制普通科高等学校の1年生172人および、2年生168人である。詳細は表1に示す。調査の実施時期は、1992年3月で、1年生は「理科I」の内容を一通り終えた直後である。2年生も特定の教科の選択者による学級編成ではなく自然な編成の学級であり、選択の物理を履修していない。したがって、これらの生徒は、静力学及び運動の3法則を一通り学習し終えた段階と考え

宇宙船がエンジンを止めたままで、宇宙空間を点Aから点Bまで横向きに進んでいる。そこは、他の天体から非常に離れていて、宇宙船は重力などの力(外力)をまったく受けていないと考えてよい。これ以降の宇宙船の運動について、次の問いに答えよ。



- (1) 点Bで宇宙船はエンジンの噴射を開始した。噴射は約2秒間続けてからやめた。宇宙船が噴射をやめた位置を点Cとするとき、点Cの位置を図に記入し、点Bから点Cまでに宇宙船が通った軌跡(道すじ)を、図に実線で記入せよ。
- (2) 点Cで、宇宙船がエンジンの噴射をやめた後の軌跡(宇宙船が進む道すじ)を、図に点線で記入せよ。

図1 調査問題

表1 調査対象生徒及び時期

学校	A 高校		B高校
学年	1年生	2年生	2年生
人数	172	82人	86人
実施時期	1992年2月		

表2 調査対象教師

教師	教師の所属など
A	全日制 普通科高校(表1のA校)
B	全日制 普通科高校(表1のB校)
C	定時制 普通科高校
D	全日制 普通科 中・高一貫校
E	全日制 普通科 中・高一貫校
F	全日制 工業高校
G	全日制 普通科高校

てよい。

調査対象となった教師は7人である。その内訳を表2に示す。これらの教師は、調査を行った学校の教師及びそれと同一地域の学校の教師である。教師Dと教師Eは同一の国立学校の教師であるが、他の教師は、それぞれ異なった公立高校に所属している。

問い(1)及び問い(2)の回答分類は、表3及び表4に示すような基準で行った。

問い(1)の回答分類の基準は、主として次の3点である。

- 点Bで連続的に進むかどうか(点Bで軌跡が急に折れ曲がらないかどうか)
- 点B以降の軌跡が曲線か、直線か
- 点B以降の進行方向

問い(2)の回答分類の基準は、主として次の3点である。

- 点Cで連続的に進むかどうか(点Cで軌跡が急に折れ曲がらないかどうか)
- 点C以降の軌跡が直線か、曲線か
- 点C以降の進行方向が、紙面の右向き(A-Bまでの方向)に近づくかどうか

以降では、宇宙船の進行方向を、紙面を基準にして「右向き」、「下向き」などと表記することにする。

表4 問(2)の回答分類の基準

	回答例
Cで連続的に進む	
① Cで曲がらず直進 (正解)	
② Cまでの向きに曲がり続ける	
③ 完全に紙面の右向きに戻る	
④ 紙面の右向きに近づくように曲がる	
Cで不連続に曲がり以降は直線	
⑤ 紙面の右向きに曲がる	
⑥ 紙面の右向きに曲がるが紙面の右向きにはならない	
⑦ 元の位置に戻る	
⑧ 紙面のその他の向きに曲がる	
その他 ⑨ その他 (①~⑧に含まれないもの)	
無回答 ⑩	

表3 問(1)の回答分類の基準

	回答例
Bで連続的に進む	
① 曲線を描く (正解)	
② 曲線を描いた後、完全に紙面の上または下を向く	
③ Bで曲がらず直進する	
Bで不連続に曲る	
直線 ④ ±90° 以内	
⑤ 90°	
⑥ ±90° 以上	
曲線	
⑦ Bで曲がった後、紙面の右の方へ曲線を描く	
⑧ Bで曲がった後、紙面の左の方へ曲線を描く	
その他 ⑨ ①~⑧に含まれないもの	
無回答 ⑩	

III. 結 果

(1) 生徒の回答分類

結果の表5は、全体としてはClement, J.による回答分類に合わせて整理した。Clement, J.の分類は、次のようなものである。

- 「正答」……………BC間は放物線を描き、Cでは曲らず直進する。
- 「部分的に正答」……………Bで急に折れ曲がった後は直進し、Cでも曲らず直進する。
- 「右向きに戻る」……………C以降は、紙面の右向き(A-B間の進行方向)に戻る。
- 「右向きに近づく」……………C以降は、紙面の右向き(A-B間の進行方向)に近づくが、完全に右向きにはならない。

この他に、Clement, J.が示していない回答も、小人数ではあるが存在した。その中の主なものについて説明する。

③-① 点Bで曲がらず、点C以降も直進する。つまり、一貫して直進を続ける。

(ロケットが噴射をやめた点Cでの速度の方向に進むという点においては、慣性の法則への理解が認められる。)

⑤-① 点Bで直角に曲がり、点C以降はそのまま直進する。

(ロケットが噴射をやめた点Cでの速度の方向に進むという点においては、慣性の法則への理解が認められる。)

(2) 生徒の回答と教師の予測との比較

a. 正答者(①-①)について

生徒の完全正答率は、1~4%と非常に低い。これに対して、AおよびCの教師は、0~1%を予測しており、非常に低い正答率を予測したという点で妥当な予測と言える。Fの教師の予測も5%であるから、生徒の実態に近いものである。しかし、残りの半数の教師は、10%以上の正答率を予測しており、実際の正答者の割合と比較すると高いものである。

b. 部分的正答者(④-①)について

部分的正答者(④-①)の生徒は、15~22%出現している。これに対して、教師Cが20%と予測した以外は、30~65%という相対的に高い数値を挙げている。つまり、ほとんどの教師は、生徒の結果よりも高い割合として、「部分的正答」の出現

を予測している。

c. 「右向きに戻る」について

「右向きに戻る」に分類される回答は、A高校では1・2年生とも30%台であり、B高校の2年生では50%にもぼっている。これに対して、教

表5 宇宙船の問題に対する高校生の回答と教師の予測(百分率)

学校 回答	学校			高 校 教 師 の 予 測						
	A校 1年 172人	A校 2年 82人	B校 2年 86人	A	B	C	D	E	F	G
正答	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
①-①	4	1	1	1	10	0	10	25	5	○
部分的正答										
④-①	22	22	15	40	50	20	30	48	65	○
右向きに戻る										
①-③			2							
④-③	1	1	2							
⑤-③			1							
⑦-③		1								
①-⑤			4				10	2		
④-⑤	20	21	15	10	10			3	10	
⑤-⑤	15	9	26	5	10		15	1		
⑥-⑤	1									
⑦-⑤		1								
小計	35	33	50	15	20	0	25	6	10	0
右向きに近づく										
④-④	1	1								
④-⑥	3	7	5							
⑤-⑥	3	4								
小計	8	11	5	0	0	0	0	0	0	0
「正答」「部分的正答」以外で 点Cで曲らず直進する 一貫して直進を続ける										
③-①	3	2				10				○
下向きに進む										
②-①							10	9		
⑤-①	6	5	6	40		50	15	14	10	○
上記以外										
⑥-①						10				
⑦-①							10			
小計	9	7	6	40	0	70	35	23	10	
その他の回答	11	16	8			10			10	○
無回答⑩-⑩	11	10	14		20					
複数回答			1							

注) 1) 回答分類の記号(「①-③」など)は、問(1)-問(2)への回答の分類番号である。

2) 教師Gは、生徒の回答予測を百分率で示さず、その回答が出現するかどうかだけの予測を行ったので、それを○印で表示した。

3) 「小計」は、表中の数値を単純に加えたものではなく、小数第1位までの百分率を合計し、四捨五入した整数値として示した。

4) 四捨五入の誤差で、生徒の回答の百分率の合計が100%にならない場合(A校1年)は、「その他の回答」の項目でまづこみをした。

5) 教師AとEは、合計が100%から少しずれる回答をしたが、ずれはわずかであったのでそのまま掲載した。

師Dが最高値の25%という予測をしているが、多くの教師の予測値は10%台から0%までの間の、低い値となっている。「右向きに戻る」という生徒の考え方の存在について、教師は予測ができないか、あるいは予測した場合でも、高い割合の存在までは予測できなかった。

d. 「右向きに近づく」について

「右向きに近づく」に回答が分類された生徒は5%から10%くらい存在するが、このような回答を予測した教師は1人もいない。

e. 「「正答」「部分的正答」以外で、点Cで曲らず直進する」について

ここに分類される回答は、全般に生徒の回答と教師の予測のずれが大きい。この中で②-①と⑤-①が特徴的である。これらは、宇宙船が噴射して下向きに曲り、以降は直進するという考え方である。

直角に曲る⑤-①は、生徒から5~6%程度出現している。この回答の出現は、教師B以外の全員が予測した。しかし、いずれも数値は生徒の回答の出現率よりも高く、10~50%の出現率を予測している。

また、なめらかに曲る②-①を回答した生徒は一人もいないが、2人の教師がこの出現を予測している。

f. 問(2)の回答が①である回答全般について

「〇-①」に分類される回答は、噴射をやめると点Cの接線方向に進むと考える回答である。つまり、問(1)の部分の正誤にかかわらず、問(2)の部分では正答に属するものである。これは、「正答」、「部分的正答」、「「正答」「部分的正答」以外で点Cで曲らず直進する」を合せたものに相当する。すなわち、慣性の法則のみを問題にした問(2)の正答者である。

これらに含まれる回答の割合を合計すると、A校1年生が35%、A校2年生が30%、B校2年生が22%である。一方、これらの回答に対する教師の予測を合計すると、最低が60%、最高が96%である。教師の予測値の方が大きく上回っている。

教師は、運動の第2法則を含む問(1)の正誤によらず、慣性の法則(第1法則)のみにかかわる問(2)を正答する生徒の割合は高いと判断している。この点で、生徒の「慣性」の理解に関する教師の

期待は、実態を上回ったものであると言える。

以上の結果から、教師を集団としてみれば、生徒にどのような回答が存在するかについては、「右向きに近づく」の存在をまったく予測できなかったことを除いて、「個々の回答の出現」をかなり予測できたと言える。つまり、「右向きに近づく」という回答の背後にある素朴概念以外の素朴概念については、おおむねその存在を認知している。

しかし、一人ひとりの教師が、生徒から出現する回答の可能性を十分に指摘できたとは言えない。生徒には、個々の教師が見落している素朴概念も、わずかながら存在している。

また、回答の出現率については、教師を集団としてみても、個人としてみても、必ずしも的確な予測をしてはいない。

IV. 考 察

以上の結果から、次のようなことが言える。

a. 生徒に出現する回答の種類については、「右向きに近づく」以外の回答について、多くの教師がその出現を予測できた。しかし、力が作用していない物体の進路が曲ることを意味する「右向きに近づく」という生徒の回答についての予測はできていない。この回答は、ニュートン力学的な慣性概念とは根本的に異なるものである。

b. 慣性の法則の理解についての教師の期待は、実際の生徒の実態のレベルよりも高い。このことは、教師は生徒が保有する「MIF 素朴概念」の存在に気づいてはいるが、それを低く見積もりすぎていることを意味している。

「右向きに近づく」に含まれる生徒の回答の理由には、「エンジンの噴射をやめたので前に行く力がなくなって、横向きの力だけになる。」「噴射をやめたらもとの力だけになるから。」あるいは、「エンジンを止めたまま横向きに進んでいたから。」といったものが多く見られる。これらの「理由」から、生徒は、「A-B間では宇宙船が横向きに進む力を持っていた。」と考えたり、「噴射をしていない状態で、宇宙船は紙面の右向きに進む性質を持っている。」と考えていることが分かる。これらは慣性の法則とは異なる考え方である。そのため、慣性概念の理解を生徒の実態以上に期待している教師たちは、「右向きに近づく」といった生徒の回答を予測できなかったものと考えられる。

同様の原因から、「右向きに戻る」という慣性の法則にまったく反する回答の出現率に対する教師の予測が、実態よりはるかに低いものにとどまったものと推定できる。「運動と力は一致する」といった「MIF 素朴概念」の存在自体に気づいてはいても、その素朴概念に立脚した生徒の推論の帰結までは、今回調査対象となった教師は予測できなかったと言える。

V. 議 論

少ない調査対象であったので、一般性のある議論はできないが、今回の調査事例から得られた結果に基づいた議論を試みる。

今回の分析結果は、教師が生徒に対して慣性概念の理解を非常に高く期待しており、MIF 素朴概念の存在を比較的軽く受け止めていることを示していた。また、MIF 素朴概念に基づいた生徒の推論の帰結まで予測することは、困難であったことを示していた。

このことを、ただちに「教師の力量不足」とか、「素朴概念に対する教師の関心の低さ」と結びつけて考えてしまえば簡単である。しかし、今回の調査に協力していただいた教師は、10年から30年の教職経験を持ち、しかも自主的に集まって物理教育の研究をしようとしている人たちである。今回の企画に賛同して、いっしょになって調査を実施しようとしたのも、素朴概念への関心の現れであった。

ところが、慣性について指導した後の、生徒の素朴概念の種類とその出現頻度は教師の予測を越えたものであったし、「紙面の右向き」に戻るといった素朴概念の予測はきわめて困難だったのである。ここでは、その原因について、少し突っ込んだ議論をしてみたい。

生徒は、「慣性」という言葉に対して教師の考えとは基本的に異なった意味を付与している。例えば、「ロケットが噴射をやめた後では元の右向きに戻る」あるいは「右向きに近づく」と考えた生徒の回答理由の中には、次のようなものがある。

「慣性の力があるから。」

「横向きの力がそのまま残っている。」

「エンジンを止めていたときには横向きに進んでいたのだから、噴射を止めたら、エンジンを止めていたときと同じになると思う。」

「下向きの力がなくなったため、今まで通り横への力で横へ動いていくと思う。」

このように答えた生徒は、慣性を「力の一種」と考

えていたり、「力を取り除けば元に戻る性質」と考えていたりする。こういった素朴概念は、「慣性の法則」として与えられた情報を、もともと保有していた「MIF 素朴概念」を基盤として取り入れ、再解釈して構成されたものである。教師が「力は一時的なものである」と考えているのに対して、これらの生徒は「力は物体に内在する持続的なもの」と考えていることが原因の一つと考えられる(中山・松原, 1989)。

このように、慣性概念を学習する生徒と教師は、まったく対立する異なった概念の枠組みを背景に持ちながら、「物理の授業」という学習の場を共有している。その学習の場の中で、教師と生徒が自分自身の概念の枠組みに基づいたままで情報交換を行い、互いの考えを理解しようとするには限界がある。

今回の調査から、教師が生徒の素朴概念を十分に見抜けなかった原因を特定することはできない。しかし、可能性のある一つの原因として、「物理の教師は、慣性の法則に基づいてしか、物体の運動についての解釈や予測ができない」ことが挙げられる。そのため、素朴な「慣性概念」に基づいて、現象の解釈や予測をしようとする生徒の思考プロセスを、自身の頭の中でシミュレーションできないのではあるまいか。

授業レベルで考えるなら、互いに相手の枠組みを「とりあえず」採用して推論を行い、その結果の妥当性について吟味する行為に、教師も参加することの価値を検討してみる必要がある。

前述のように、「慣性の法則」の要求する構成概念は、日常経験に結びついた素朴概念とは完全に異なったものである。しかし、これらの素朴概念も、今回の生徒の回答にも表れたような「運動の予測」が可能な構成概念なのである。ただ、今回の問題のような「無重力」という日常とかけ離れた場面では、的確な予測が難しいものだという点が、科学的に妥当とされている「慣性の法則」とは異なるのである。教師もこのことを認めなければならない。

教師が、生徒の素朴概念を知って、それに基づいた実践を企画しようとするなら、生徒の素朴概念の持つ説明力や予測力の限界だけでなく、日常生活におけるその有効性をも理解する必要があるだろう。そして、その素朴概念に基づくと、運動に対してどのような予測が可能になるのかを、生徒と一緒に考えることが大切になってくるであろう。また、生徒自身も、素朴概念の持つ予測力の及ぶ範囲の広さと同時に、限界をも

見極める必要がある。それを手助けすることが教師の重要な役割と認識されるようになれば、教師と生徒が互いの概念を共有する授業が実現できるのではあるまいか。

この研究を進めるにあたって、「教師と生徒がお互いの概念の枠組みを知り、互いの枠組みをとりあえずとり入れて推論を進め、その結果の妥当性を吟味するという行為」は、まさに教授—学習活動そのものであると考えてきた。しかし、今回の調査結果は、教師は自分自身の概念の枠組みの中で推論を進めており、なかなか生徒の概念の枠組みに入って行きにくい状況を示唆するものであった。これは、生徒と教師の概念的相互作用の研究にも、問題を投げかけるものであろう。

※この研究は、平成4年度科学研究費 奨励研究(A)「力学領域における学習者のミスコンセプションに対する教師の認知」(研究代表者：中山 迅, 課題番号：04780290)の援助を受けて行ったものである。

この研究にご助言をいただいた、広島大学附属福山中・高等学校の呉屋博先生と、協力いただいた高等学校の物理の先生方に深く感謝します。

引用文献

- Berg, T. and Brouwer, W., Teacher awareness of student alternate conceptions about rotational motion and gravity, *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 28, No. 1, pp. 3-18, 1991.
- Clement, J., A Conceptual Model Discussed by Galileo and Used Intuitively Physics Students, Gentner, D. and Stevens A. L. (Ed.), *Mental Models*, LEA, pp. 325-340, 1983.
- Duit, R., Students' Conceptual Frameworks: Consequences for Learning Science, Shawn M. G. et al. (Ed.), *The Psychology of Learning Science*, pp. 65-85, 1991.
- Fisher, K. M., A misconception in biology amino acids and translation, *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 22, No. 1, pp. 53-62, 1985.
- 堀 哲夫, 「子どもの素朴概念」, 『理科の教育』, Vol. 44, 4月号, p. 33, 1995.
- Kruger, C., Palacio, D., Summers, M., Surveys of English Primary Teachers' Conceptions of Force, Energy, and Materials, *Science Education*, Vol. 76, No. 4, pp. 339-351, 1992.
- 中山 迅・松原道男, 「学習者の「力」の理解に関する研究(2)—誤りのルール化の試み—」, 日本理科教育学会研究紀要, Vol. 30, No. 2, pp. 63-68. 1989.
- Peterson, P. L., Teachers' Knowledge of Students' Knowledge in Mathematics Problem Solving: Correlational and Case Analyses, *Journal of Educational Psychology*, pp. 558-569, 1989.
- Posner, G. J., et al., Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change, *Science Education*, Vol. 66, No. 2, pp. 211-227, 1982.
- Scott, P., *A constructivist view of learning and teaching in science*, Centre for Studies in Science and Mathematics Education: The University of Leeds, 1987.

(受付日1995年8月7日, 受理日1995年11月30日)

〔問い合わせ先〕

〒889-21 宮崎市学園木花台西1-1

宮崎大学教育学部

中山 迅

e-mail: e04c01u@cc.miyazaki-u.ac.jp