

# 科学概念の素朴な理解から概念変化、 熟達まで



赤ちゃんは自分を取りまく世界をどのように理解しているのか

---

# 乳児が早期から持つ知識

- (1) 物体の基本的性質と運動についての基本的原理
- (2) 物体と物質の存在論的な違い
- (3) 生物・非生物の本質的区別
- (4) 数についての基本的認識
- (5) 言語に関する知識

# 乳児が持つ知識の測定方法

- おしゃぶりを吸う速さ  
で測定する方法



## 乳児の持つ知識の測定法(2)

標準的な方法→馴化・脱馴化パラダイム

- 馴化(habituation)

乳児は「同じ事象」を繰り返し見せられると、飽きて注意が持続しなくなる

- 脱馴化(dishabituation)

馴化された事象と異なる事象(乳児の期待と異なる事象)を見せられると、注意が回復し、じっと見つめる

# 物体の基本的原理の理解

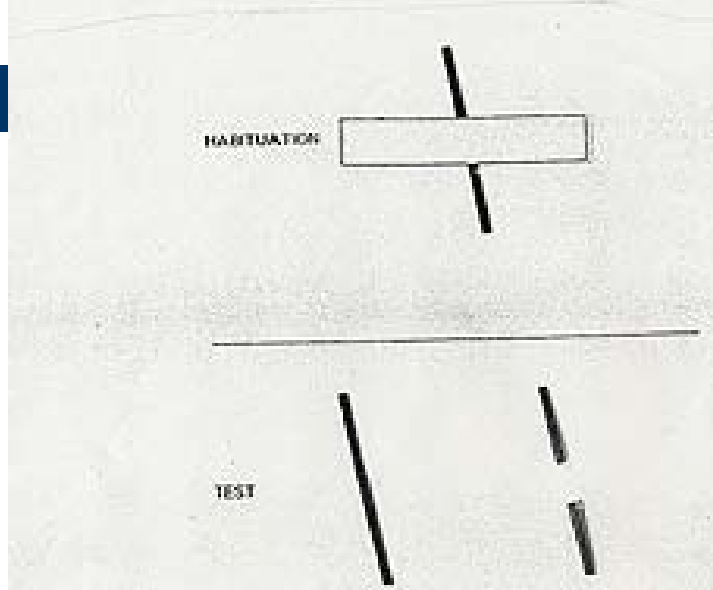
(1) 物体はまとまっている

遮蔽されて目に見えない部分は目に見える部分と連続的に繋がっている

(2) 物体は運動の際に全体がまとまって共に動く

→Kellman & Spelke(1983)の実験

ケルマンとスペルキーの実験  
(Kellman & Spelke, 1983)



**Figure 3.9 Stimuli used by Kellman and Spelke (1983). For the baby to be able to clearly “see” the bar represented below on the left, and not two segments, the two segments visible above and below the occlusion must move in concert.**

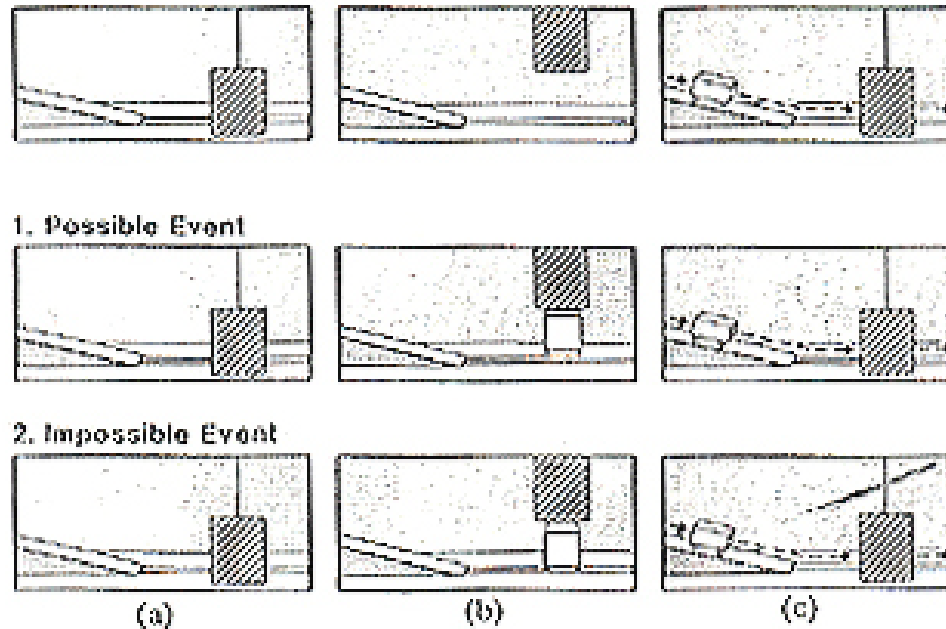
乳児(生後5カ月)は棒が一つの連続したものであることを期待し、期待に反する事象(2つに分断された棒)を見せられると長く注視する

# 物体の基本的原理の理解(つづき)

(3) 物体は世界に永続的に存在するものであり、  
視界から隠されてもその存在は消えない(object  
permanence)

→Baillargeon(1987)の実験

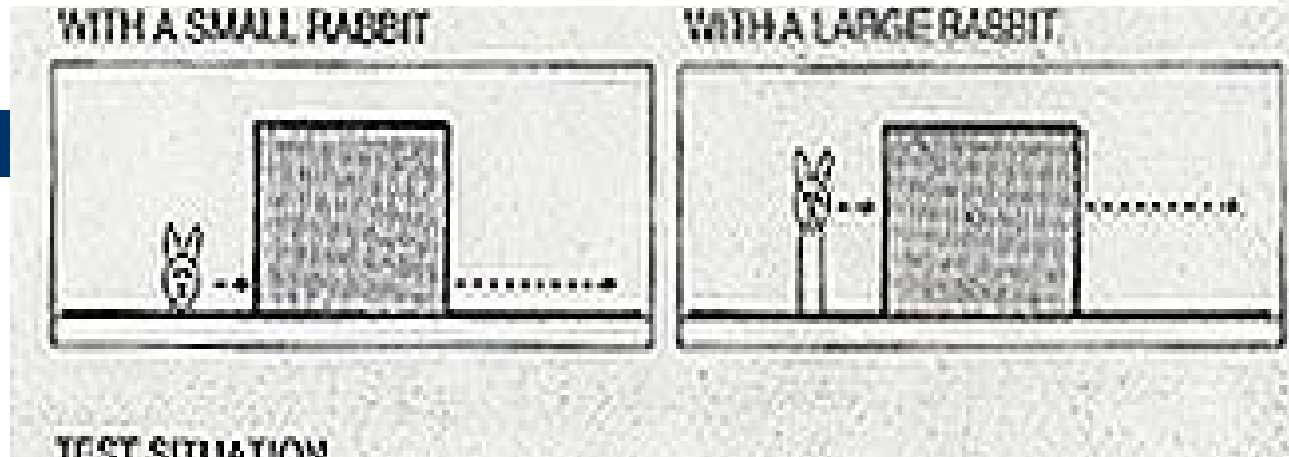




**Figure 3.14** Schematic representation of the habituation and test events used in Baillargeon (1987b). In (1b) a white object sits behind the track, and thus does not interfere with the movement of the locomotive in (1c). In (2b) the object has been shifted forward slightly and sits on the track, making the locomotive's reappearance in (2c) impossible.

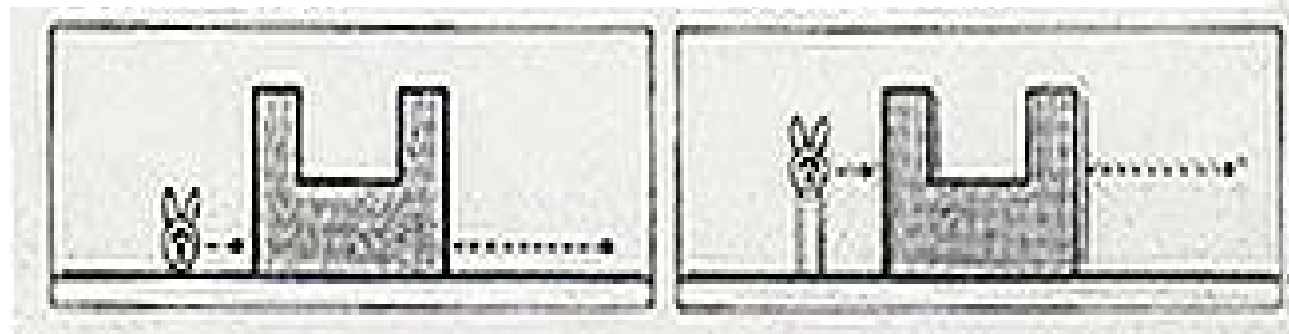
**HABITUATION  
WITH A SMALL RABBIT**

**WITH A LARGE RABBIT**



**TEST SITUATION  
POSSIBLE EVENT**

**IMPOSSIBLE EVENT**



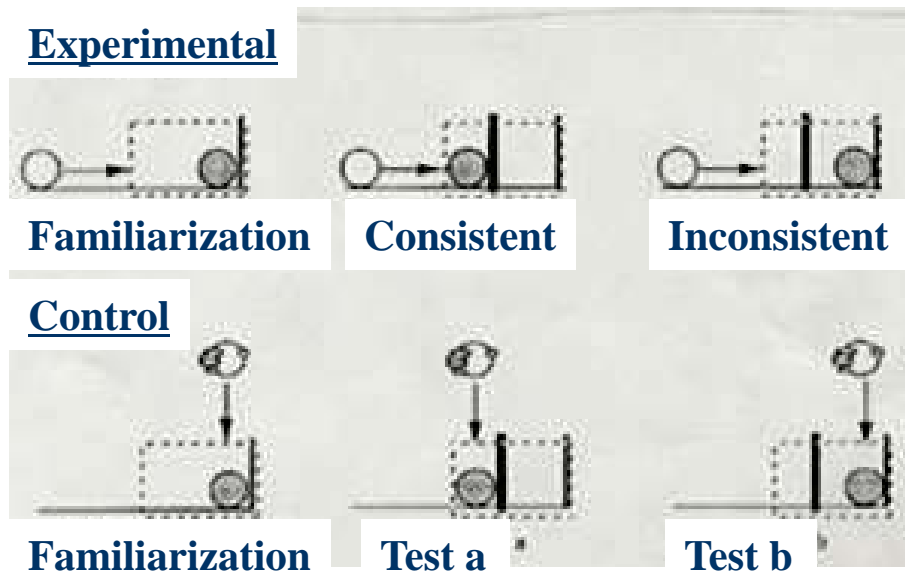
乳児は不可能な事象の方を長く注視し、驚きを示す。

# 物体についての基本的原理の理解

(4) 物体は堅固なものであり、ひとつの物体が別の物体を通りぬけることはできない

スペルキー

生後2カ月の乳児がこの知識を持つことを示す。



# 生物・非生物の区別に関する知識

- 生物→自発的な運動が可能
- 非生物→自発的な運動はできない  
外からの力が必要

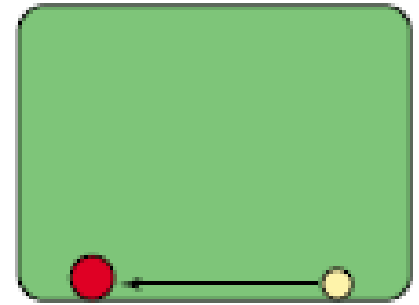
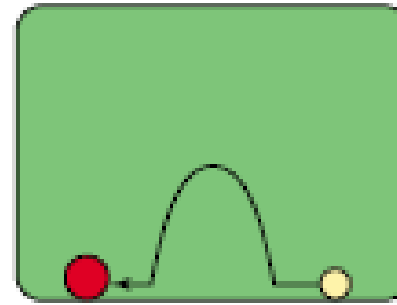
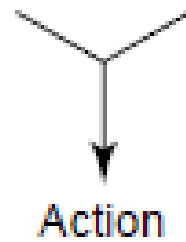
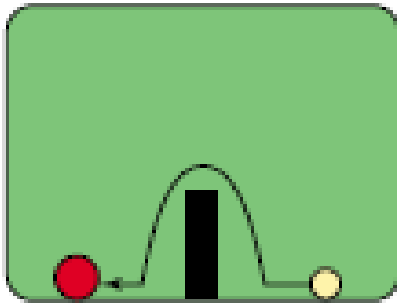
Observed  
behaviour

Inference

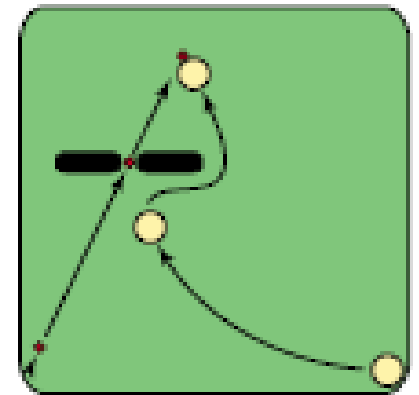
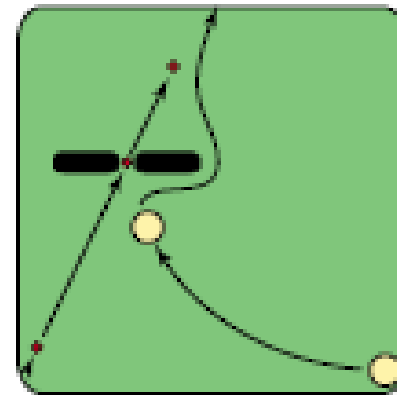
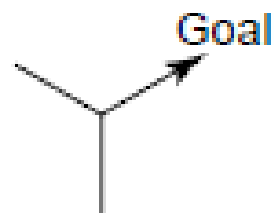
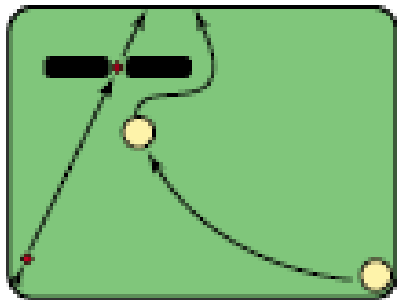
Incompatible  
outcome

Compatible  
outcome

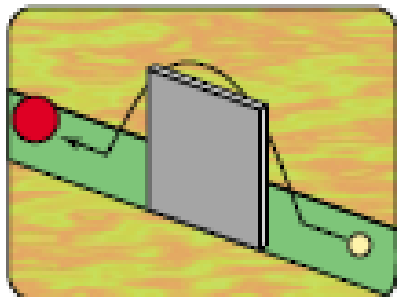
(a)



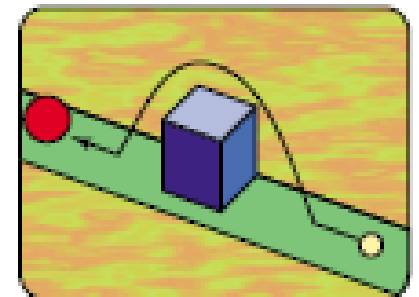
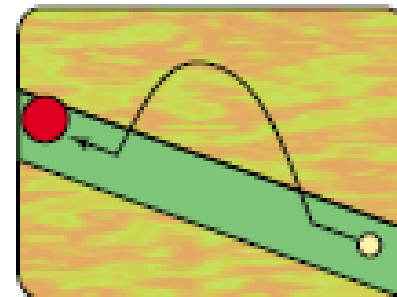
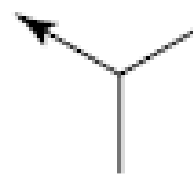
(b)

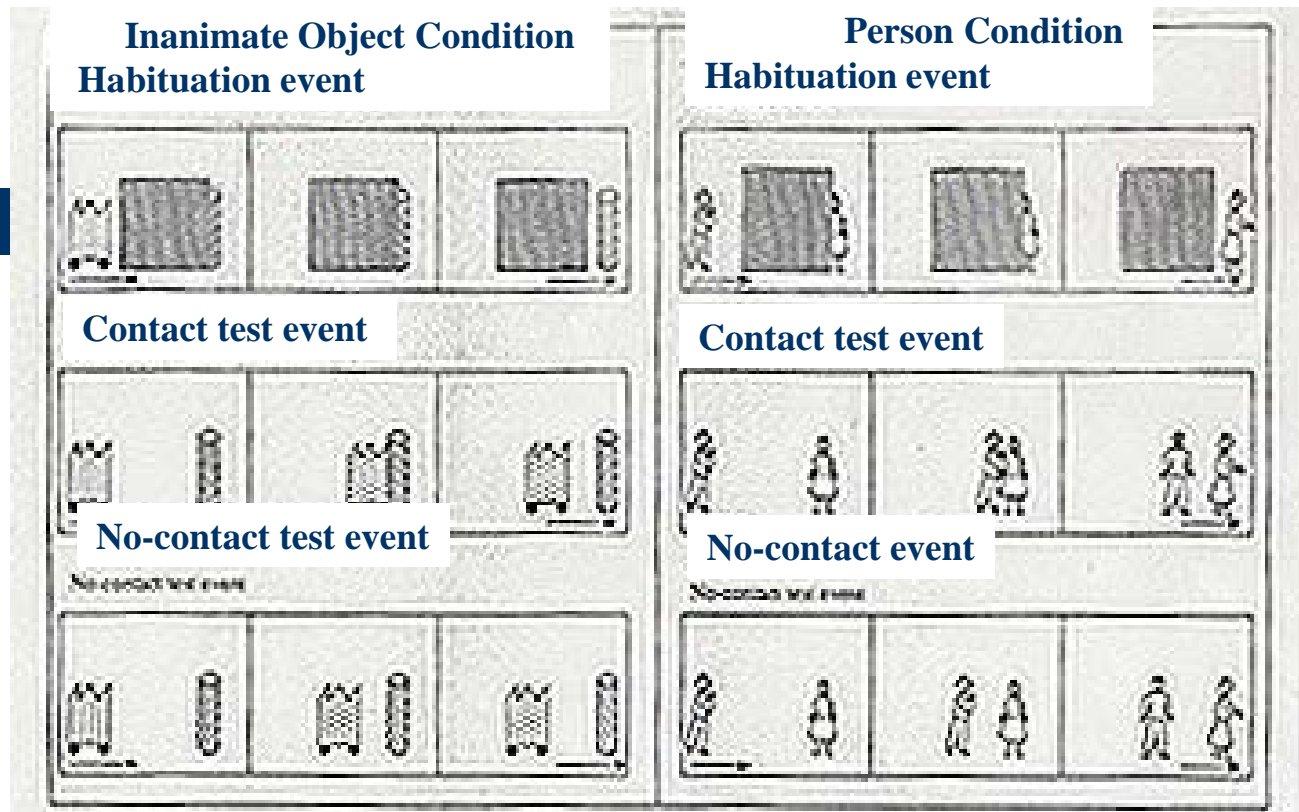


(c)



Constraints





**Fig.3.7 Schematic depiction of the events for a study of infants' inferences about the contact relations between inanimate objects or people.(After Woodward *et al.* 1993.)**

# 数の基本的概念の理解

- 乳児は数についての基本概念を持っている  
→Wynn(1992)の研究  
生後5ヶ月の乳児が基本的な足し算と引き算ができる

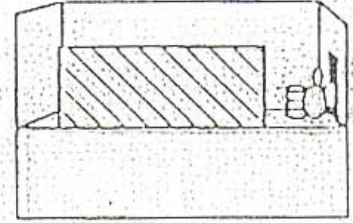
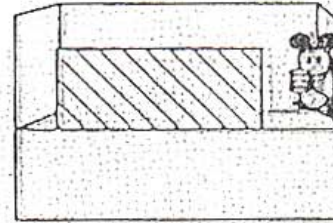
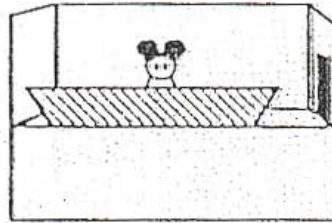
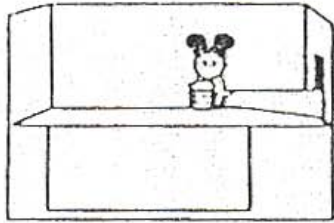
## Sequence of events 1+1=1 or 2

1. Object placed in case

2. Screen comes up

3. Second object added

4. Hand levels empty

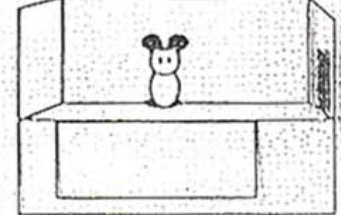
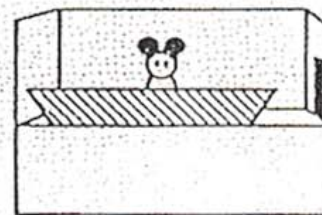
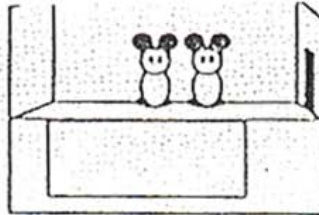
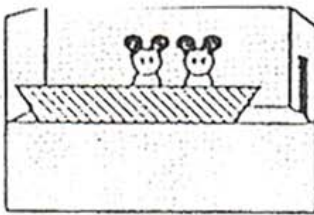


Then either : possible outcome

or : impossible outcome

5. Screen drops... revealing 2 objects

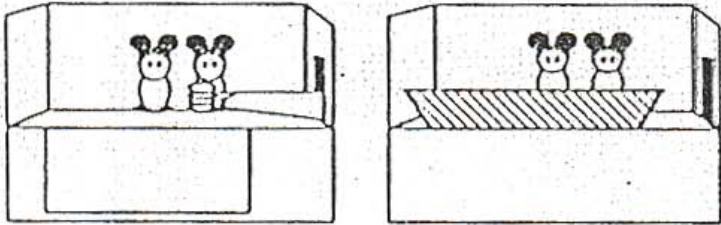
5. Screen drops... revealing 1 object



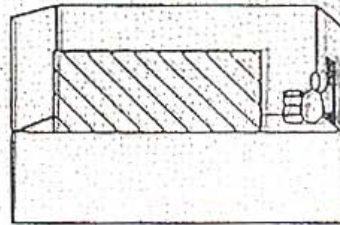


# Sequence of events $2-1 = 1$ or $2$

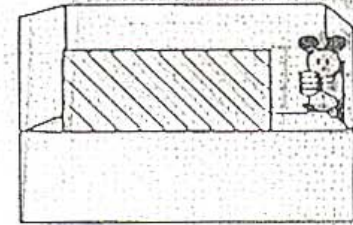
1. Objects placed in case    2. Screen comes up



3. Empty hand enters



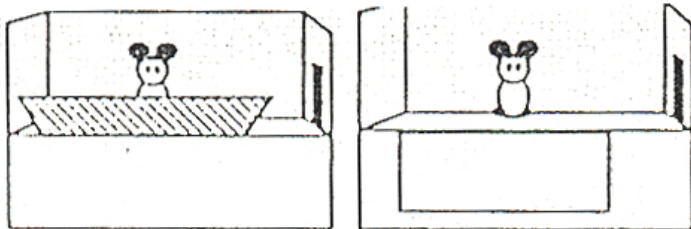
4. One object removed



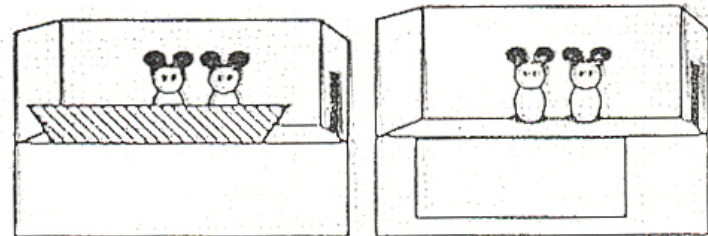
Then either : possible outcome

or : impossible outcome

5. Screen drops...    revealing 1 object



5. Screen drops...    revealing 2 objects



# 知識のはじまり:まとめ(1)

- 人間は生後間もない乳児でも、ある特定の概念領域については非常に豊富な知識を持っている

# 問題

- 赤ちゃんは数や物理現象について豊富な知識を持っているのに、算数、数学、科学の学習で躓くのはなぜか

# 知識の獲得(学習)の形態

- 知識の豊富化(enrichment)
  - 知識の構造自体は変わらず枝葉が増え、構造がより洗練されたものになる
- 知識の再構造化(restructuring)
  - 概念変化

# 概念変化とは何か

- 当該領域の理解にとって核(core)となる原理が変化すること

## 問題

- 概念変化はどのような領域で起こるか
- 概念変化はどのようなメカニズムで起こるか
- 概念変化はどのようにしたら促進できるか

# 子どもが経験する概念変化の例

- 数の概念
- 生物学の知識
- 物性(Matter)についての認識
- 地球と宇宙(物理的事象)についての認識

# 素朴理論と誤認識

- 人が持つ「素朴理論」(naïve theory, folk theory)が誤認識を作りだし、しばしば特定の科学理論の学習を「誤った方向」に導くか、学習を困難にする
- 正しい科学理論の認識
  - 素朴理論を捨て新たな核原理(core principles)を受け入れることが要求される→概念変化が要求される

# 「数」概念に対する子供の自然な理解

- 乳幼児期の子供にとって「数」は「自然数」に等しく、「物体の数」として理解されている。



# 数概念で要求される概念変化

- 学齡期になると

- 「ゼロ」
- 「数は無限に続く」
- 「数は連続的なものであってある自然数と次の自然数の間には連続的に無限の数が存在する」

ということに対する理解が要求される

## 「数」概念領域での概念変化(2)

- 乳幼児: 「数＝数えられる数」という認識
- 学齢期: 「数＝無限の連続的な概念」という認識へと移行
- 当初持っていた認識を捨て去ることで、初めて次の認識が理解できる
  - 「わり算」は子供にとって算数の最初の高いハードル

# 生物学の知識

- 子供が当初持つ「生物」の概念は「人間」の概念に等しい (Carey, 1985)
- 幼児にとって「生物」とは感情があり、考えるもの  
(例) 植物≠「生物」、みみず≠「生物」
- 生と死の概念、再生(出産、世代交代)などは幼児には難しい

## 生物学の知識(2)

- 「脳」の機能→子供は知的、感情的側面のみが脳の機能と考える
  - 「歩く」、「手を動かす」などに脳は関与しないと考える

# 地球と宇宙（物理的事象）の概念

子供は

- 物体は支えなしで宙に浮くことはできない
- 物体が動かずに停止した状態であるためには、その物体は平らな面に置かれていなければならない

という素朴理論を持つので、

- 地球が宇宙空間に浮いている
- 地球が丸く、人は丸い地球上に立っている

という事実を受け入れにくい

## 地球と宇宙の概念(2)

- 素朴理論による誤認識は、学校で「地球は丸い」と教えられても簡単には克服されない
  - むしろ、子供は自分の素朴理論と大人から教えられたことのつじつまがあるようなモデルを考え出す (Vosniadou & Brewer; 1992)

# 子どもの「地球は丸い」という事実の解釈

- 事例1 Jarmie (3年生)
  - 実験者:地球はどんな形をしている?
  - J:丸い
  - 実:地球の絵を描いてくれる?
  - J:(円を描く)
  - 実:ずっとまっすぐまっすぐ歩き続けたらどこにたどり着く?
  - J:べつの星

## 続き

- 実:地球の端にたどり着かない？
- J:うん、ずっと歩き続けられね。
- 実:端から落っこちてしまうと思う？
- J:たぶんね。



# プロトコル2

- Terina (5年生)
  - T:地球は丸いけど、私たちにはたいらに見えるの
  - 実:何故?
  - T:ぐるっと見渡すと丸いから。
  - 実:地球の形は本当はどうなっているの?
  - T:丸いの、厚いパンケーキのように

# プロトコル3

- 実: ずっとまっすぐまっすぐ歩き続けたらどこにたどりつく?
- M: 地球の端に行き着くと思う。
- 実: 君は地球の端にいけると思う?
- M: いけないんじゃないかな。
- 実: うんといっぱい食べ物を持ってずっとずっと歩き続けたら?
- M: たぶん行けるかも。

## 続き

- 実: うんといっぱい食べ物を持ってずっとずっと歩き続けたら？
- M: たぶん行けるかも。
- 実: そしたら地球の端から落ちてしまうと思う？
- M: ううん、落ちない。地球の外側にいたら落ちるかもしれないけど、僕たちは内側にいるんだから、落ちることはない。

*Universal and culture-specific properties*

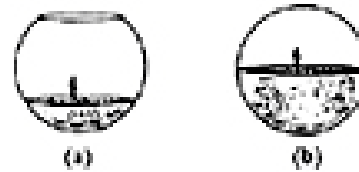
Sphere



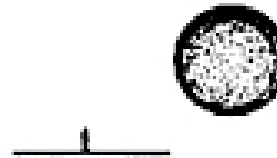
Flattened Sphere



Hollow Sphere



Dual Earth



Disc Earth



Retangular Earth

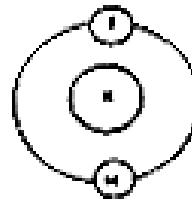


Figure 16.1. Mental models of the earth.

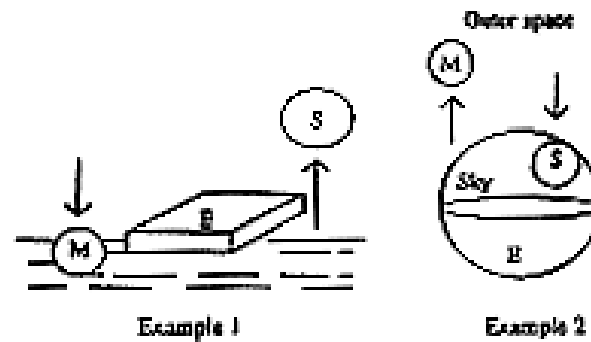
axis rotation



GEOCENTRIC TYPE 1



GEOCENTRIC TYPE 2



GEOCENTRIC TYPE 3



GEOCENTRIC TYPE 4

Figure 3. Schematic representation of geocentric cosmologies.

# 物性の理解

- 子供は物体(object)の基本的特性について乳児期から知識を持っている
  - 物体は支えがないと下に落ちてしまう
  - 物体は視界から見えなくなっても、その存在が無くなることはない
  - 物体は空間を移動するとき、その軌跡は必ず連続的である
  - 空間の同一点上に、二つの物体は同時に存在できない

## 物性の理解(2)

- 乳児でも物体と物質の区別ができる
  - しかし、子供の概念は大人のそれとは根本的に違う
- 子供は物体も物質も質量を持つ“material”であることを理解していない
  - 「重さ(weight)」の概念が大人とは根本的に異なる

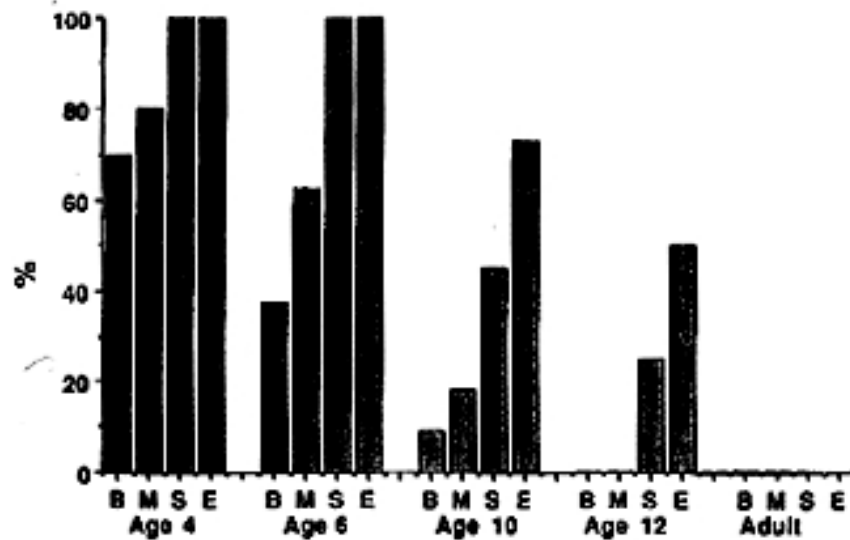
# 「重さ」の概念についての誤認識

- 子供は「重さ」が明らかに「重い」もののみに存在する属性と考える
  - 小さい発泡スチロールのかけらには「重さがない」と考える
  - ある重さの物体を10分割したら、それぞれには「重さが無くなる」と考える

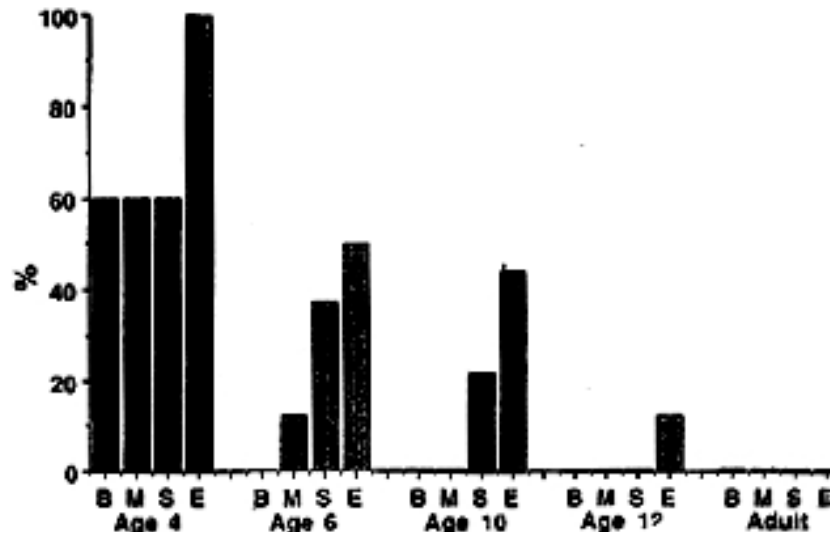


# 誤認識の理由

- 子供が「重さ」と「密度」を混同しているため
- 物質が均質で連続性をもったものという認識をもたないため
  - 小さい子供は、鋼鉄を小さく切っていくと最後には消えてしまうと考える



*Weight of Styrofoam. Percent judging piece of Styrofoam weighs nothing at all as a function of the size of the piece. B, big; M, medium; S, small; E, ever, if one kept cutting it in half, repeatedly*



*Styrofoam's taking up space. Percent judging pieces of Styrofoam takes up no space at all as a function of the size of the piece. B, big; M, medium; S, small; E, ever, if one kept cutting it in half, repeatedly.*

# まとめ

- 子供の誤認識を訂正し、概念変化をもたらすことは容易ではない
- 子供が持っている理論(つじつまを合わせたモデル)が絶対にうまくいかない場合を示し、子供が自発的に現状のモデルを破棄して別のモデルを考慮するような教示が必要である

大人の素朴理論は科学的に正しいか

---

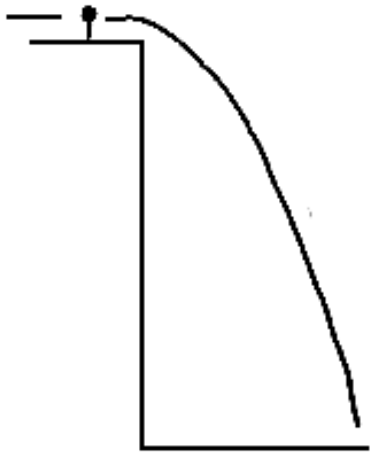
# 崖問題

無視できない数の学生がBのような軌跡を描く

→水平方向の速度は変わらないことを理解せず、運動するにつれて減衰してしまうと

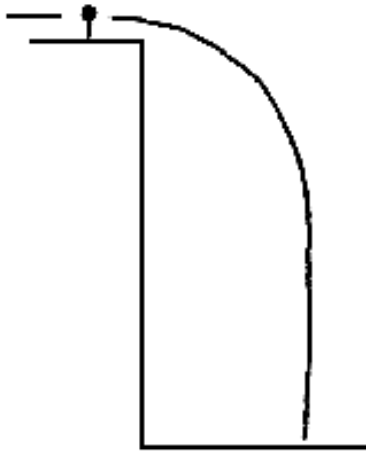
考えている

4.



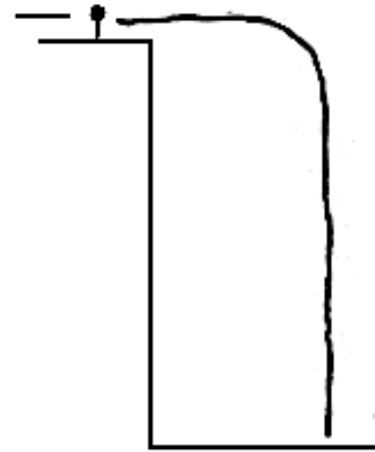
A

67.3% (70.0%)



B

30.1% (30.0%)



C

2% (0.0%)

# インタビューによる素朴理論の同定

13人の内11人がnaïve inpetus theoryを保持

- Naïve inpetus theory

→ 運動中の物体は内的な力を獲得する  
この力が運動を維持する

# 崖問題の被験者のプロトコル

- 崖問題でボールが短時間横方向に運動し、それから真下に落ちる軌跡を描いた被験者のプロトコル
  - 1 ボールが崖を離れたときは慣性の「力」(つまり水平方向の「力」)は垂直方向の力よりも大きい
  - 2 水平方向の力が減衰し始める時、ボールは下方向に落ち始める
  - 3 最終的に水平方向の力が消滅し、ボールは真下の方向に落ちていく



# コイン投げ上げ問題 (Clement, 1982)

## コインの運動についての素朴理論

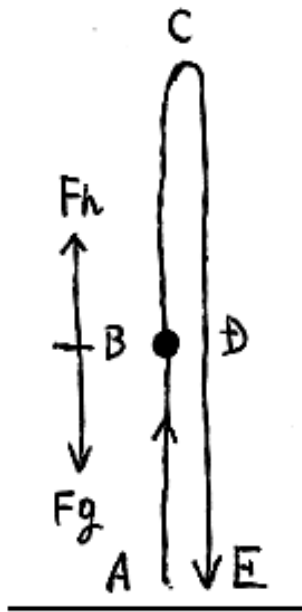
- コインを投げ上げると、重力と「上向き力」とともに働く
- 「上向き力」が重力より大きいと、コインは上昇運動する
- しかし、この「力」は次第に減衰し、やがて重力に「負けて」しまう
- するとコインは落下し始める

## ● Clement の実験

物理コースの前 → 正答率は12%

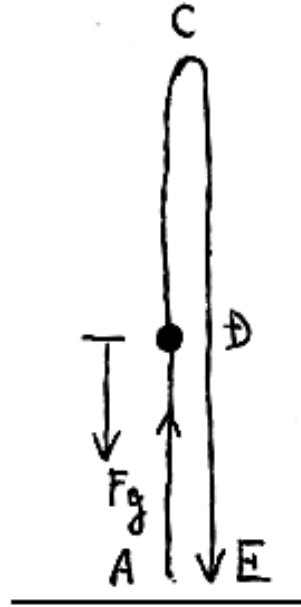
後 → 正答率は28%

6.



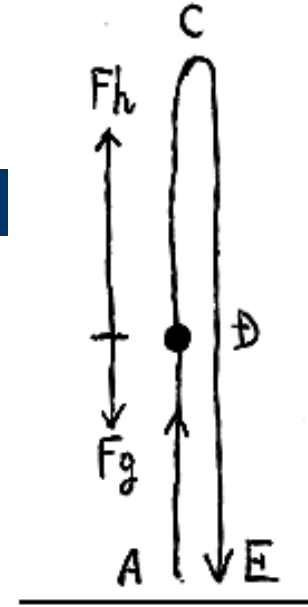
A

12.2%(0.0%)



B

14.2%(26%)



C

73.4%(74.0%)

# 慣性の法則

- (1) 静止した物体は静止しつづける
- (2) 動いている物体は同じ方向に運動しつづける

(1)→直感(素朴理論)と一致

生後間もない乳児でもこれを理解

(2)→素朴理論に反する

「素朴理論」→物体の運動には力が常に  
加わっている (Impetus theory)

# Impetus theory

- (有名私立大の) 学生が素朴理論として持つ Impetus theory  
→ 中世の Impetus theorist のひとり Buridan (14世紀) 次ページ
- ある学生→重力は impetus があるうちは働かない
- 中世の理論家の中にもこれと同じ考えを表明したものがいる

## Impetus theory (2)

- Impetus theorist のひとり Buridan (14世紀)  
in moving a moving body impresses in it a certain impetus or a certain force...[which impetus acts] in the direction toward which the mover was moving the body, either up or down, or laterally, or circularly...It is by that impetus that the stone is moved after the projector [i.e., mover] ceases to move [it]. But that impetus is continually decreased by the resisting air and by the gravity of the stone.

## Impetus theory (3)

ガリレオも初期にはImpetus theoryを信じていた  
上昇運動から落下に至る物体の軌跡の各点で働く「力」について  
the body moves upward, provided the impressed motive force  
is greater than the resisting weight. But since that force...is  
continually weakened, it will finally become so diminished  
that it will no longer overcome the weight of the body and  
will not impel the body beyond that point.....