北海道教育大学学術リポジトリ
Hokkaido University of Education Repository
国立大学法人 北海道教育大学
HOKKAIDO UNIVERSITY OF EDUCATION

# 科学における知識理解の意味：理科教育的視点から



| メタデータ | 言語: Japanese |
| --- | --- |
| | 出版者: |
| | 公開日: 2012-11-07 |
| | キーワード (Ja): |
| | キーワード (En): |
| | 作成者: 平, 一弘 |
| | メールアドレス: |
| | 所属: |
| URL | https://doi.org/10.32150/00004237 |

北海道教育大学紀要（第１部Ｃ）第44巻　第２号
Journal of Hokkaido University of Education (Section I C) Vol.44, No.2

平成６年３月
March, 1994

# 科学における知識理解の意味
## ――理科教育的視点から――

平　　一　弘

### １はじめに

この論文は過去150年間における氷河期論生成過程[1]における詳細な分析から，理科教育における次の基本問題について論述する．
①科学的知識は発見されるものか，創造されるものか．
②知識理解の意味
③科学の方法について
④科学における合理性について
⑤科学的知識形成における手続論

### ２氷河期生成過程

氷河期論生成過程の資料[1]から，図１は1800年代から最近に至たる，各々の時代における権威ある教科書と論文をまとめた．この中でＴ（理論概念），Ｐ（経験概念）はその時代の特徴的な科学概念を示す．図２はこれら科学概念の生成の歴史的配列を示し，図３は各々の概念の生成の関係をまとめたものである．この流れを概観すると，次の区分が可能である．

① 「前氷河時代期」（$T_1$～$T_2$期）
② 「氷河時代確立期」（$T_3$期）
③ 「複数の氷河期認知の時期」（$P_2$期）
④ 「ウルムーリスーミンデルーギュンツ氷河期認知の時期」（$P_3$期）
⑤ 「過去50万年間の気候変動解析の時期」（$P_4$～$P_7$期）

更に大きく区分し，（$T_1$～$T_3$期）を「ライエルーアガシー期」とし，（$P_2$～$P_3$期）を「ガイギーーペンク期」とし，（$P_4$～$P_7$期）を「エミリアニーヘイズ期」と名づける．これらは，平・吉岡（1983）により既にまとめられている，氷河期論生成過程における，段階１，段階２，段階３に対応する．そのため，その氷河期論生成過程の一般的な歴史的詳細はここでは省略する．図１から図６は理科教育的視点から，次の問題を明確化するため，筆者によりまとめられた．

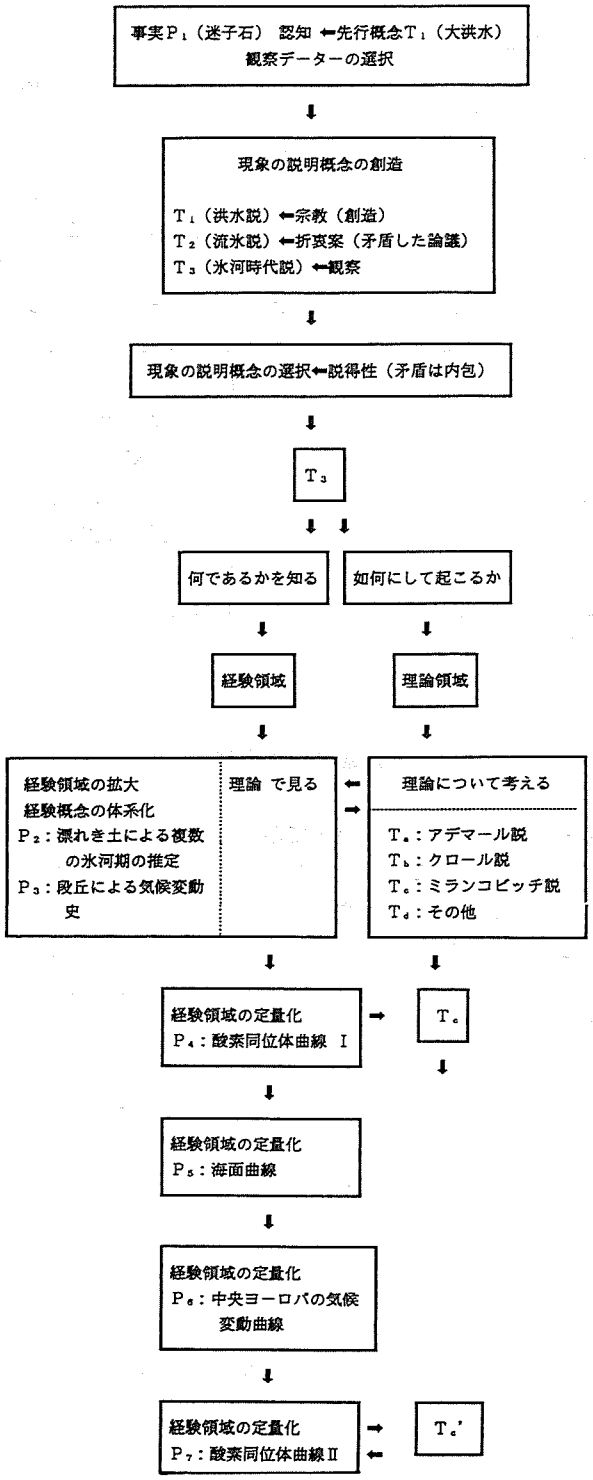
図1　氷河期論生成過程における、各々の時代の権威的論文

「旧約聖書」：$T_1$

ライエル（１８３３）「地質学原理」：$T_2$
アガシー（１８４０）「氷河研究」：$T_3$

| 経験領域 | 理論領域 |
|---|---|
| ⬇ | ⬇ |
| | アデマール（１８４２）<br>「海の大変動」：$T_a$ |
| ガイキー（１８７４）<br>「大氷河時代」：$P_2$ | クロール（１８６４）<br>「気候と変動」：$T_b$ |
| ペンク・ブルックナー（１９０９）<br>「氷河時代におけるアルプス」：$P_3$ | ミランコビッチ（１９２０）<br>「太陽放射によって生じる熱現象に関する数学理論」：$T_c$ |
| ケッペン・ウェゲナー（１９２４）<br>「地質学的過去の気候」 | |
| エミリアニ（１９５５）<br>「更新世海水温」：$P_4$ | |
| エリクソン等（１９６１）<br>「大西洋における深海コア」 | |
| インブリ・キップ（ca.１９６９）<br>「有孔虫による多変量因子解析法の開発」 | |
| メソレーラ等（１９６９）<br>「気候変動の天文学的理論」：$P_5$ | |
| ककラ（１９７０）<br>「黄土と深海底堆積物の対比」：$P_6$ | |
| ブロイカー・ファン、ドンク（１９７０）<br>「放射変動、氷量、酸素同位体変動」 | バーネカー（１９７２）<br>「地球が受ける太陽輻射の変動」 |
| ヘイズ等（１９７６）<br>「地球軌道の変化」：$P_7$ | ベルジェ（１９７７）<br>「気候変動における天文学説に対する支持」：$T_c'$ |

図2　氷河期論生成の過程



## 3 科学的知識は発見されるのか，創造されるか

科学的知識は人により真実を発見するという考えと，科学的知識は創造されるという考えがある[3]．これはRealism的考えと，Instrumentalism的考えである．氷河期論生成の過程から論ずると，初期の段階では「事実の予見」とか「可能性の予見」であり，これは実在を信じるということである．これはポラニーの指摘[4]にある「かくれた実在の予感にたいする傾倒」と考える．「氷河時代」という概念が推定された後において（図2），その作業は「それが何であるかを知る」と言う作業と「如何に起こるか」の理論の創造であり，これは理解することと説明の作業でもある．更に，理解することは「理論で見る」作業であり，説明は「理論を創る」働きである．この作業も理論$T_c$が創造され，経験領域が定量(数学）化が進と，このゲームはあるシミュレーション・ゲームとなる．それ故，事実を発見すると言うことは「そのように見える」と言うことを意味し，これは「事実を創る作業」でもある．例えば，エミリアニの酸素同位体曲線は初めての定量的気候曲線であり，これはある目論みで作成され，これは$T_c$（ミランコビッチ曲線）とかなりの対応を示した．これは最初の説明概念（$T_c$）を説明しうる，事実の発見であった．しかし，これは，時間を経るうちに，この曲線は理論と一致するが，これは見掛け上のことで，別の意味があることが判明した．これは，この酸素同位体曲線が事実の発見でなく，事実の創造であることを示す．それ故，事実の発見とはコロンブスによるアメリカ大陸の発見とか，迷子石があすこにあると言う様な発見なのである．その意味で，科学は定性的側面において，客体と主体の区分はあるが，定量化が進むにつれてその区分は消える様である．

## 4 知識理解の意味

氷河期論生成の過程から知識理解の意味を探ってみる．人が対象を理解すると言うことは，本来，自身の精神的安定を保つためであり，これは個人であろうと，社会集団であろうとおなじである．図1は氷河期論生成過程における，各々の時代の権威ある教科書，論文である．教科書はクーンよるその時代のパラダイムを示し，これはその時代の「問題解決の雛型」となる．それは，前時代の概念を部分的に引きずり，矛盾を内包しながら，概念分化を伴いながら，そのパラダイムは変遷していく．その変遷は「ライエル－アガシ－期」，「ガイギー－ペンク期」，「エミリアニ－ヘイズ期」と区分される．これは，知識理解において，ある種の完結性を示す．図2はその歴史的流れを詳細にまとめ，知識理解（知識創造）の過程は次の段階を経る様である．

(1)　段階Ⅰ

①ある種の先行概念から「事実」の認知：事実の理解

②現象の「説明」

③説明概念の選択

(2)　段階Ⅱ

①経験領域と理論領域の分化

②理論を考える作業（複数の理論が創造）と理論で考える作業：経験的理解と理論的理解が並列状態.

(3)　段階Ⅲ

①理論と経験領域が一体化（自然現象の説明と意味が確立）：説明・意味の理解

## 5 科学の方法

図3は氷河期論生成過程を色々な概念構成から，その相互関係をまとめた．初期の段階の概念$T_1$の時期から，最後の$P_7$までの，概念の生成とお互いの関係を示す．基本的に，この知識形成の過程は内的な世界と外的な世界をその視点を移動しながら，現象の分析と統合を繰り返し，理論と現象の矛盾を解決して行く作業である．これは，ヨーロッパという地域から，アメリカをふくめた全世界にむけて同意をもたらす作業でもある．

クーン流[5]の視点で氷河期論生成の流れを見ると，$T_1-P_1$の時期はプレパラダイムの時期であり$T_3$からパラダイム成立期で，$P_4$以降はパラダイムの精密化の時期と考える．科学の方法において，このパラダイムという用語はある全体を包括するが，あいまいな用語と指摘[6]されるが，この「あいまい」な用語こそが重要な前提概念である．これは，宗教における無分別知であり，宗教はむしろこの無分別知を重視する．

図4は図3を基盤とし概念の理論概念と経験概念の生成のパターンをしめす．この図から，Ⅲ期以降と以前でその知識の構造論的違いが見られる．Ⅲ期以前は上位概念の設定の段階であり，これ以降は概念分化の時期である．宗教における無分別知と分別知の区分で，知識とは分別知を示す．図4のⅢ期以降はその分別知を示し，以前は無分別知と考える．前者は構造化された科学的知識であり，後者は経験，直感，部分的観察を基盤とし理論と形而上学的理論が一体化した，断片的な複合体を示す．分別知の出発点は上位概念（氷河期）の認知であり，無分別知の出発点は事実の認知である．事実を認知する場合も，ある理論が必要でされる（ここでは形而上学的概念である）．分別知と無分別知（包括的な知）の区分を科学哲学の分野に応用すると，無分別知の代表は前述した様にパラダイムという概念であり，氷河期生成の流れではこれは「氷河時代」と言う概念である．氷河期論生成の過程からこの無分別知と分別知の違いは図5に詳細に示している．

ラカトッシュの「研究プログラム」[7・8]は曖昧さが内在するパラダイムという概念を逸脱し，「研究プログラム」と言う概念に三つの要素を（中心核，仮説帯等）内包させているが，これはこれ自体分別知に近かづいている．この「研究プログラム」の視点で図3を見ると，氷河期論の中心核は「氷河時代をもたらすその源動力は，太陽のまわりをまわる地球のまわり方の変化」と言う思想で，この研究プログラムは外部からの反証に対し，$T_a$から$T_c'$とその構造を変化（先行理論に対し補助項を加える）をさせながら（図3，4），前進的な時期と退行的な時期を繰り返して来ている．これら一連の天文学説は他の氷河期論と競合しながら，歴史の中で消されることなく，浮き沈みしてきた．そのため，ラカトッシュの「研究プログラム」説は知識が分別化される時，適合可能であり，「パラダイム」の概念は知識が無分別知の次元で適合性があるようである．これは，即科学の方法論という概念は科学的知識が生成され，その発展の過程の各々の一側面を強調している様である．

図3　氷河期論生成過程における経験概念と理論概念の関係

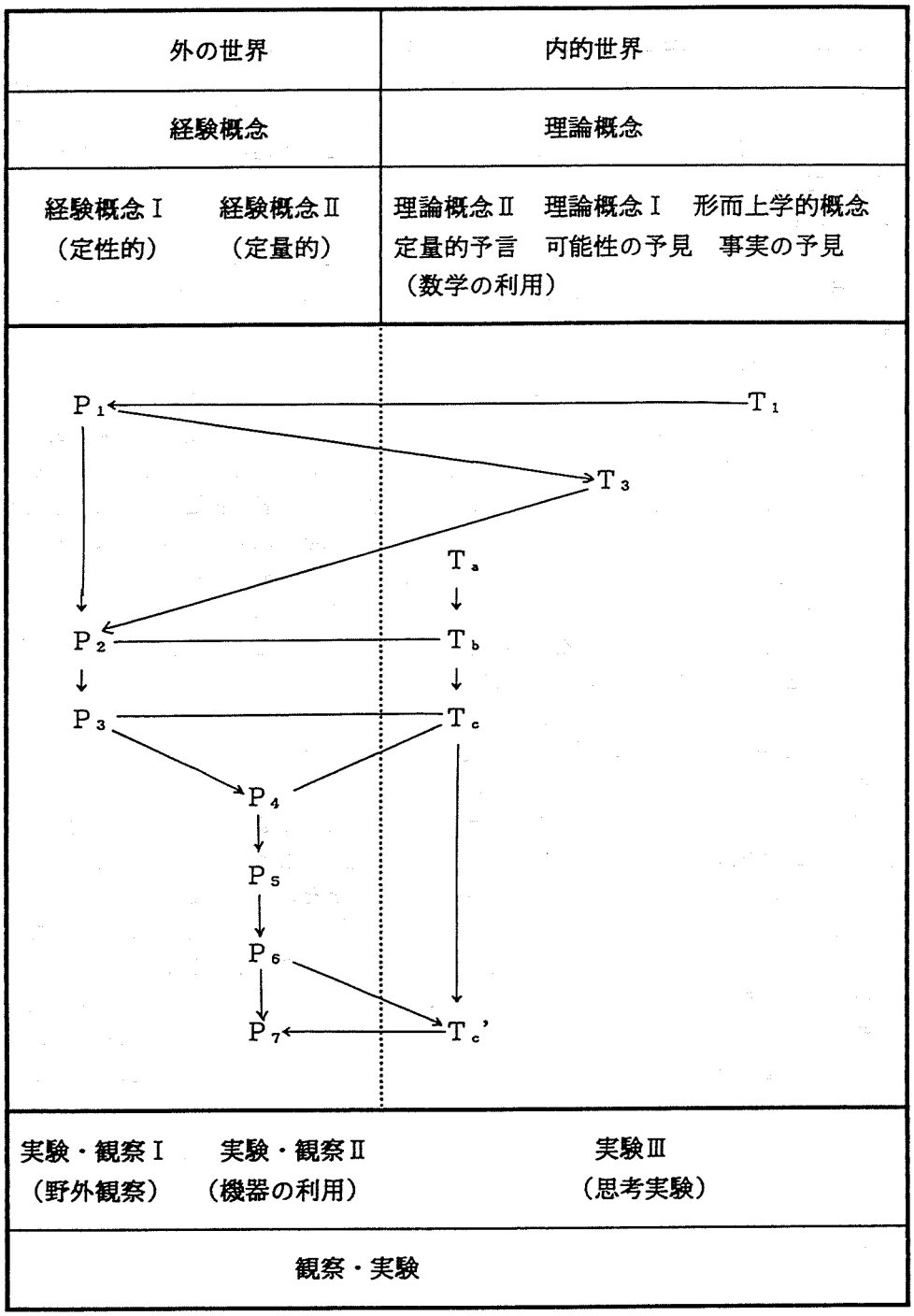
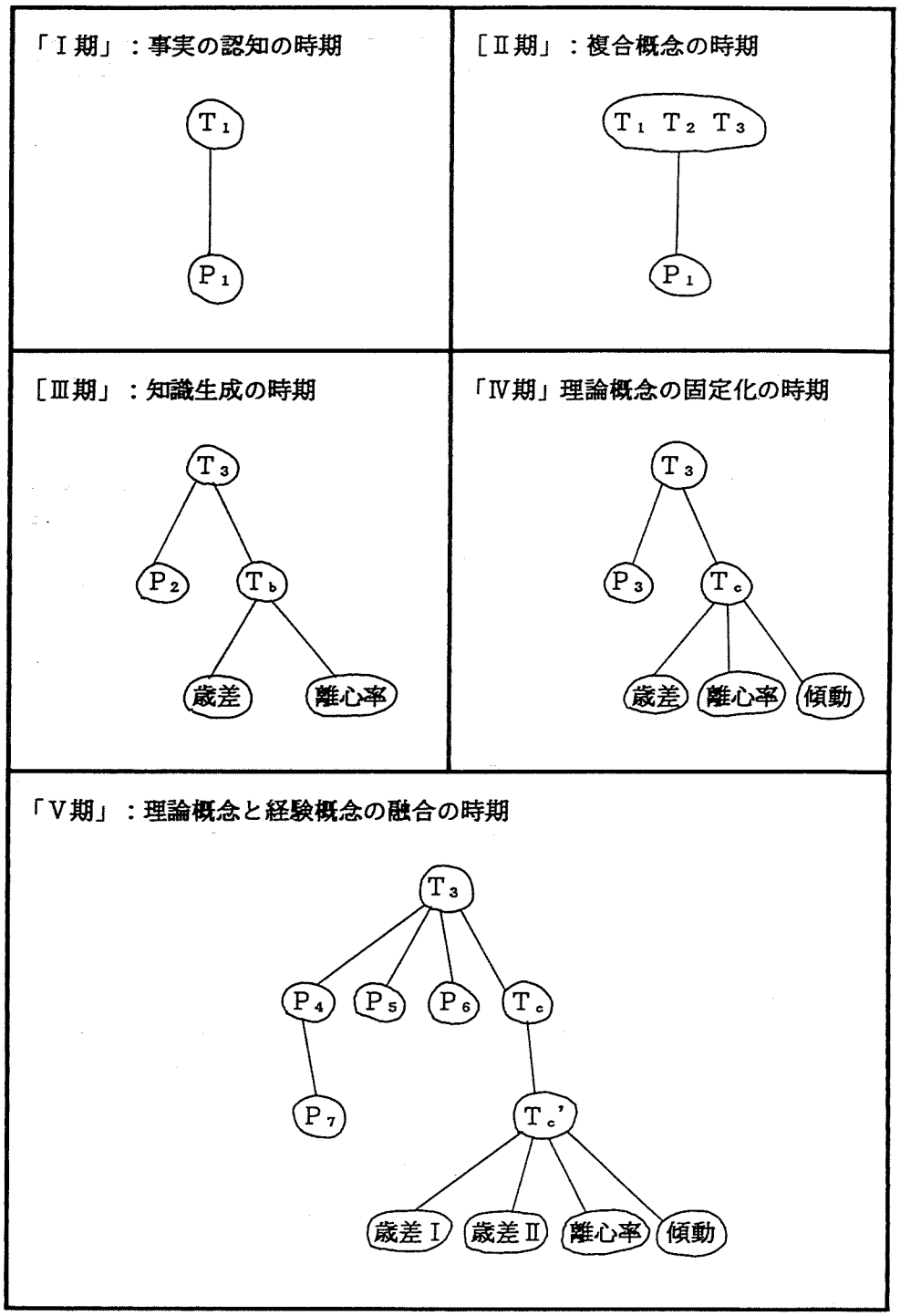


図4　氷河期論生成における、概念分化の過程



## 6 科学における合理性

科学は合理的である言う場合，そのイメージは定量的に思考することが出来るという漠然たる概念である．科学における合理性は，人の脳が本来合理的なのか，自然が合理的にできているのか，自然科学がレトリカルに合理的であるのか，その問題は多様である[9]．

氷河期論生成の過程から合理性を考察すると，これは知識の構造論的特性で変化する様である．図2，3において，　$T_1-P_1$期においては，科学外の権威と「帰納的合理性」が一体化しているが，「氷河期」概念が認められる過程は合理的とは言われない．むしろ，非合理的であるが，色々な概念群「$T_1$，$T_2$，$T_3$」は色々な問題を内包しているにもかかわらず，それぞれ内的に調和し，完結性をもっている．これらをここで，内的・直感的・合理性（これは広い範囲の前提を基礎としている）と定義する．$T_3$選択以後$P_3-T_c$までは，定性的操作で経験領域を拡大し，理論群を増殖の時期でもあり，天文学説と定性的な気候変動曲線の対比の時期である．この対比が如何なる意味があるかは別として，定性的な「確証と反証」を基盤とする合理性の時期である．$P_4$以降は天文学説と定量的気候曲線の対比の時期であり，この時期は定量的（数的）な「確証と反証」の合理性を特徴とする．

更に，図3は時間と共に経験概念と理論概念の相対的距離が近かづいていることが明確に示されている．ローダン（1986）は問題解決過程を科学における合理性と考えているが，図3における二つ概念の収斂化は最終的に対象の完全理解（問題解決）を示す．これは真の理解（問題の解決）が内的世界空間と外的世界空間の結合を意味し，宗教における「主客不二」[10]に対応する．科学において，二つは完全に結合はなく，あくまで近似であるが，「主客不二」に近かづき，これが理解である．理解とは一見「分別（概念の分化）」を意味するが，このレベルでは人の知恵とはなりえない．宗教における「仏も吾れもなかりけり」[10]と言う心境が知恵の理解であり，これが知識の同化を意味する．

しかし，約150年間における氷河期論形成過程において，その問題解決の過程は図4における，概念分化の過程であり，それに伴いその理解のレベルが存在する．この概念分化過程には，色々な小問題の形成，理論の選択，問題解決法が内包されている（図6）．更に，$T_1-P_1$期，$P_3-T_c$期，$P_4$期以降において，その問題の解決の方法論は広い範囲の知識領域が常に関与している．又，ある問題を解決に努力しても，その結果は別の意味が判明することがあり，そのため図4は単なる現在の結果図なのである．ローダンの「合理性は最も高い問題解決率を示す研究伝統を選択することである」と言う主張は完全には理解できないが，この氷河期論形成過程において，概念分化の基本となっている概念が存在する．それは「時間と空間」の概念であり，概念分化の基本前提はこの概念である．それは地球には長い歴史が存在すると言う言明（これは1830～1865年にライエルにより地質時代区分がなされている）と同じ時代の地層がグローバルに広がる言う言明である．もし，この氷河期論生成の歴史に研究伝統的な概念があるとすると，この「時間と空間」の概念である．

それ故，この「時間と空間」の概念を基本としなければ，氷河期論の歴史のながれは存在しない．その意味でこの概念を受容したことが科学における合理性と考えるなら，これが第一の合理性であり，その中に「帰納的合理性」・「演繹的合理性」を内包すると考える．

**図5**　氷河時代に関する分別知（科学的知識）と無分別知

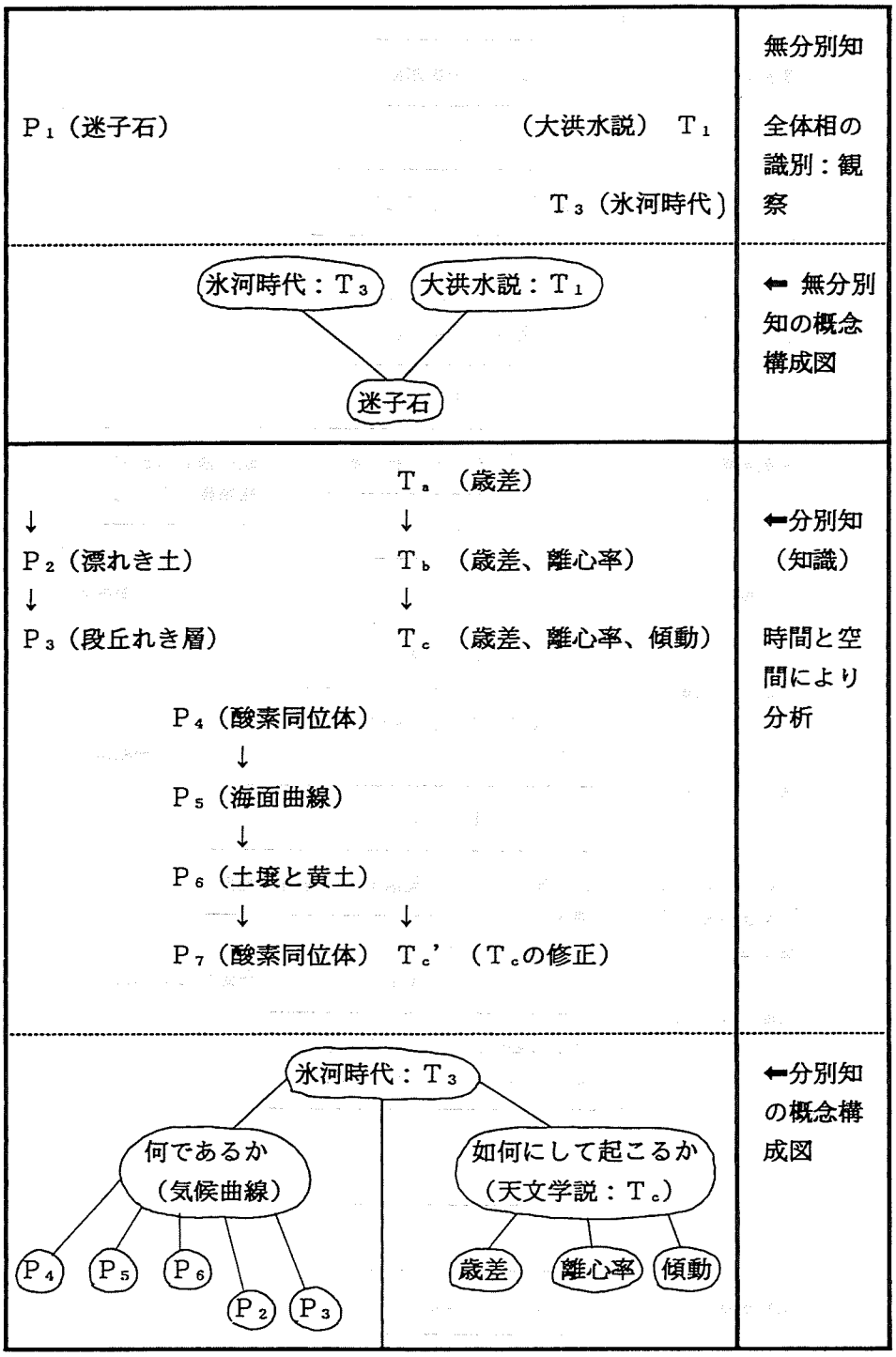
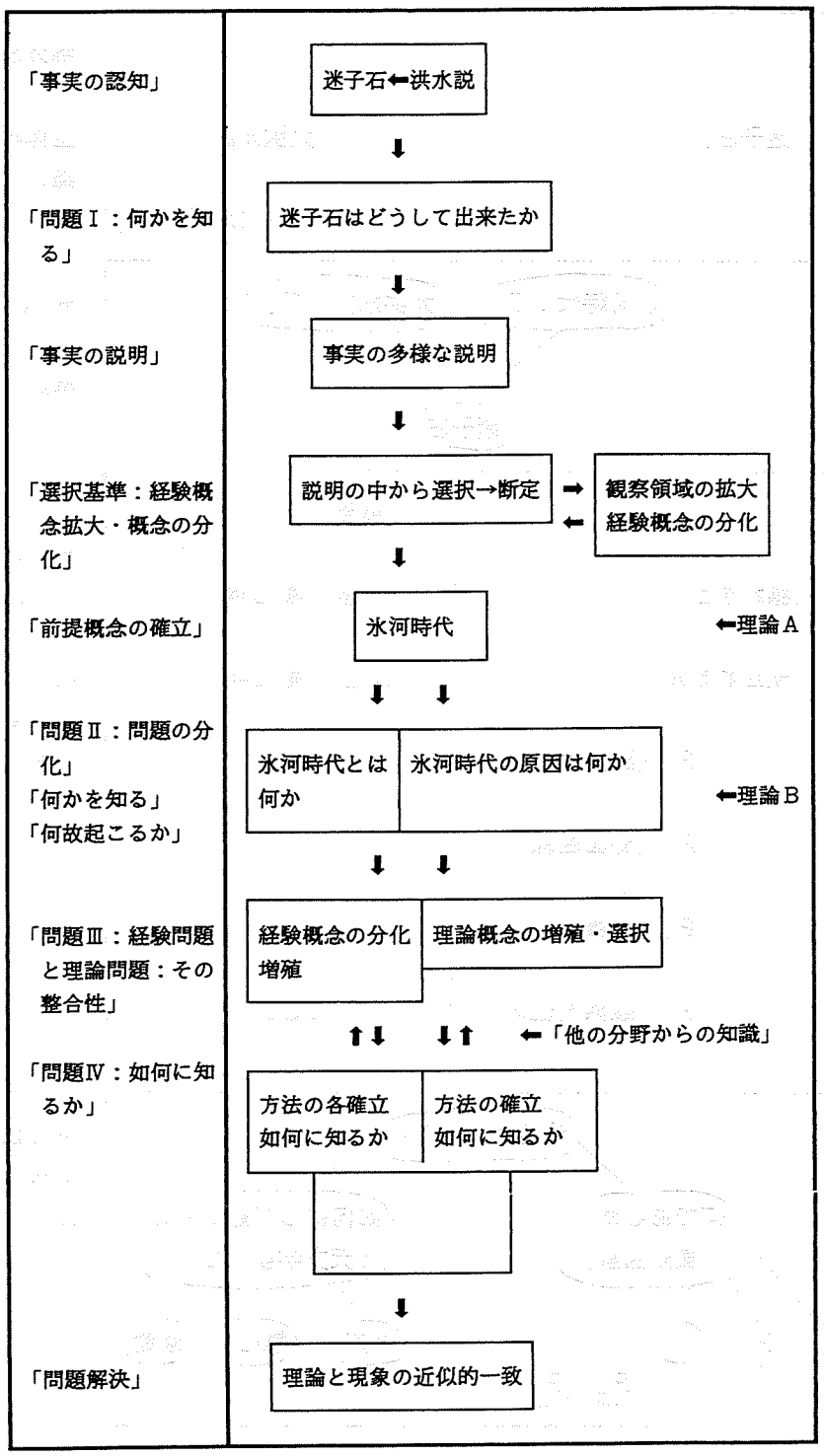


図6　氷河期論生成過程における問題の設定とその解決の過程



## 7 知識形成における手続的知識

知識には図5に示され様な表示的知識と，これを生み出すための手続的知識があり，ここでは手続的知識の意味を探る．次は各々の時期の気候変動曲線作成の前提と，曲線を作成する手続である．

①$P_2$：最も厚い漂れき土（末端氷堆石）より，過去の氷河の分布を推定し，漂れき土層の間に見られる，植物の破片等は間氷河期の堆積物と推定する．

②$P_3$：アルプスの北斜面において砂礫層を氷河期の堆積物とし，平坦面を間氷河期の堆積物とする．

③$P_4$：海水は二種の酸素同位体を含み，寒冷水に棲息する貝はより重い同位体を取り入れる．そのため過去に棲息していた貝の同位体を測定すると，過去の古海水温が推定出来るため，それにより氷河期と間氷河期を区分することが出来る．

④$P_5$：サンゴ礁の高さから昔の海面の高さを推定（温暖期は高海面，寒冷期は低海面）．

⑤$P_6$：氷河拡大期のその周辺部に黄土層が堆積し，温暖化すると森林が発達することにより，氷河期と間氷河期を区分出来る．

これらの基本的前提により，色々な気候曲線が各々の時代に作成され，理論と照合し，ある完結した知識体系を形成した．しかし，これらの前提は，おとからの研究資料で否定され（例えば$P_3$）たもの，初期の目的とその結果の意味が変更させられた前提（$P_4$）等があり，その前提は変遷している．それ故，その前提が否定，変更させられると言うことは知識形成の手続論が変わることを意味する．それは理論領域においても，ある前提が存在（氷河作用の始まりは，冬期における太陽放射量の減少か，夏期における減少か）することは同じである．これらの資料から，科学は前提を認容したまま知識を創造し，知識転換の中で，前提も転換させて行くやりかたを取るのが自然である．それ故，科学的知識は「知識の前の知識」があり，これが知識転換の重要な働きをしている．

## 8 理科教育的視点からの考察

これら科学史的資料の理科教育的視点からの再編成は多様な問題点を明示している．それは，教育目的，カリキュラム編成，教授・学習課程論，学力論等に多面的な視座を与える．

①教育目的論

教育目的は実際的側面，社会的側面，文化的側面に分類され[11]，それらは「知識理解」，「社会的問題解決」，「知識の創造」に対応する．教育目的は社会目的と同じく考える場合があるが，これらは基本的次元の違うものである．基本的に社会全体の人間が，専門的知識を創造することはできないし，又一人の人間があらゆる知識を習得することはできない．それ故，「知識理解」には限界があり，むしろ「社会的問題解決能力の育成」ということに，教育目的は限定される．この問題解決能力の意味はこの小論で論述したように，如何なる理論なり，如何なるパラダイムなり，如何なる伝統を「選択」出来るかと言うことである（これには，社会において純粋に多様な理論を創造する機関があるという前提がある）．これが，知識理解の過程で習得される必要がある．

②教育課程論

それでは，具体的に氷河期論体系をカリキュラム問題に載せて見たい．カリキュラムはその目的により，「生の知識体系」にするか，あるプログラムを作りそれに再編するか，多様である．「知識理解」という視点からは「気候のシステム」に，「社会的問題」という視点からは「気候と環境，

気候と文明，気候と食料」に，「知識の創造」という視点からは「所謂，知識の前の知識（知識創造の潜在的側面）」に再編される．しかし，再編したとしても，それらは無限大に拡大できなし，同時に子供の外的世界は常に無限大に変革される可能性を持つ．その意味でカリキュラムは小さな枠組みで限定されることが望ましい．それで，カリキュラムの中心核は「気候システム＋知識の潜在的側面」となり，周辺部に「気候と環境等」いった概念を配列すべきである．

③学力論

学力について，氷河期論生成過程から，考察してみたい．学力というより，人間が安定して存在するためは何が必要かと言うことである．問題解決における矛盾は内的世界と外的世界の矛盾と，内的世界同志の矛盾が存在し，この解決とは最終的にを宗教における「主客不二」の状態に達すことである．この学ぶ力，即ち問題解決のする力は「創造する力（探求能力）の裏側に存在する選択する力（受容能力，選択能力）」となり，これが広い意味の学力と定義される．

④教授・学習過程論

氷河期論生成過程から考察された知識理解の段階は発生論的学習理論[12]における知識習得過程と驚くほど良く一致する．更に，オーズベルが指摘する前提概念からの知識分化の過程は[13]氷河期論生成過程における構造分析においても明確に示されいる．ピアジェにおける論理的思考とかガニエの指摘する探求の過程は，「知識外の知識」としては単純化，一般化されたきらいあり，それほど知識形成は単純ではない．むしろ，ピアジェにおける「主客不分離」の思想[14]こそが，理解における最重要な考えであると，この資料は示している．

## 引用文献


1 Imbrie, J. and Imbrie, K. P., 1979. Ice ages : solving the mystery. Enslow Publishers, New Jersey.

2 平　一弘・吉岡一男，1983．地学分野の学問構造と学習理論．日本教科教育学会誌，8（3・4）：73－78.

3 Munby, H., 1983. Thirty studies involving the scientific attitude inventory : what confidence can we have in this instrument ? J. Res. Sci. Teach., 20 : 141－162.

4 マイケル・ポラニー（佐藤訳）．1987．暗黙知の次元．紀国屋書店.

5 Kuhn, T. S., 1970. The structure of scientific revolutions. Chicago Univ. Press. Chicago.

6 ラリー・ローダン（村上・井山訳），1986．科学は合理的に進歩する．サイエンス社.

7 Gilbert, J. K. and Swift, D. J., 1985. Towards a Lakatosian analysis of the Piagetian and alternative conceptions research programs. Sci. Educ., 69 : 681－696.

8 Hallam, A., 1983. Great geological controversies. Oxford Univ. Press, London.

9 Nussbaum, J., 1989. Classroom conceptual change : philosophical perspectives. Int. J. Sci. Educ. 11 : 530－540.

10 柳宗悦，1991．南無阿弥陀仏．岩波文庫.

11 Shen, B. S. P., 1975. Science literacy and the public understanding of science. In S. B. Day (ed), Communication of scientific information. Kargel, Basel, pp. 44－52.

12 Osborne, R. J. and Wittrock, M. C., 1983. Learning science : a generative process. Sci. Educ., 67 : 489－508.

13 Novak, J. D., 1977. A theory of education. Cornell Univ. Press, Ithaca.

14 Cawthron, E. R. and Rowell, J. W., 1978. Epistemology and science education. Studies in Science Education, 5 : 31－59.


（本学教授　旭川校）