

空間的課題の問題解決過程とその特徴

The process and characteristics of spatial problem solving.

村越 真[†]
Shin Murakoshi

[†]静岡大学教育学部
Faculty of Education, Shizuoka University
ehsmura@ipc.shizuoka.ac.jp

Abstract

This article investigated the process and characteristics of spatial problem solving using geography and geology problem from the national university examination. The participants are 7 students and 4 teachers/university professor of geology or geography. They were asked to solve nine to twelve problems and think aloud method was used. The analysis of verbal protocol revealed that there are three processes; visualization from verbal text or conceptualization from graphical choices, comparison of visual and verbal information in order to get correct choice, and searching additional cues by adjustment of description level. Mis-conception which is similar to that of physics problem was also reported.

Keywords Spatial thinking, problem solving, adjustment of description level, mis-conception

1. 緒言

知能は多様な要素から構成されているが、言語、数学・論理的な能力と並ぶ知能の構成要素として空間的能力が指摘されている(たとえば、Hegarty & Waller, 2005)。言語や論理による問題解決に関する研究が認知心理学の初期から数多く行われてきた一方で、空間的問題解決についての研究は十分ではない。村越・小林(2002)は、大学入試センターの地理の地形図読解問題を高校生と地理の大学院生に解答させ、その結果から地形の読解にあたって、一種のスキーマと考えられる地理的知識が活用されている可能性を示唆した。また、北野・今井(2010)は、気象予報士と一般学生の天気図理解や基礎的な視空間能力や推論過程を比較し、全体としては知識が重要な変数であり、学生の基礎的な問題のみで視空間能力の関連があることを見いだした。

図的表現を使った問題解決は近年、空間的思

考としてGISや地理の分野からの注目を集めている。空間的思考とは空間概念、表現の道具、推論プロセスの3つの要素の統合体であり、空間の意味理解や空間的特性を問題の構造化や解答の発見、解の表現に利用する過程である(NRC,2006)。空間的思考という視点で見た時、上記の研究は、領域固有の知識の役割を見いだしているものの、解を得るための推論過程の特徴についての十分な知見は得られていない。しかし、空間的問題解決を推論という視点から検討することは、認知心理学的にも興味あるテーマである。

第1に、空間的思考が仕事や科学的発見に寄与してきた点である。DNAの構造である二重螺旋の発見やプレートテクトニクスの発見につながる海洋底拡大の証拠の発見は、いずれも空間的思考による問題解決の例と言える(NRC,2006)。またビジネス書などでも、空間的に問題やその解決法を整理し、そこから新しいアイデアを得る方法が示唆されるなど、空間的思考が日常生活や一般的な仕事を生産的にする上で重要な役割を果たすことがエピソード的ながら指摘されている(たとえば、吉田,2003)。その背後に働いている推論過程を明らかにする上で、空間的問題解決が参考になる。

第二に、ITCが進展することで、これまで以上に多様な地図やグラフィック表現が私たちの生活で身近になった点である。ウェブで配信される地図はもとより、ハザードマップや安全マップなど、問題解決に資する地図情報が作成、一般市民に配布され、行動に利用されてきている。その一方で、

必ずしも一般市民が作成者の意図通りにはこうした地図を使った問題解決を行っていないことも指摘されている（たとえば、村越・小山,2006）。効果的に地図情報が利用されるためには、空間的な情報を成人がどう受容し、推論に利用しているかを明らかにする必要がある。空間的問題解決の過程を検討することは、そのための基礎を提供すると考えられる。

第三に、こうした社会の変化に呼応して、中等、高等教育の入試問題、あるいは学力調査において地図や図的表現を利用した出題が増えている点である。国際学力調査である PISA でも図表等の読解は重要な要素の一つとなっている。ナイーブな視点からは、こうした図的表現を使った問題解決が現代の必須スキルの一つと考えられているが、その解答のためにどのような認知能力や過程が要求されているかは十分明らかになっていない。空間的問題解決の過程を明らかにすることは、その教育に資すると考えられる。

そこで本研究では、空間的問題解決過程の特徴やその背後にある空間能力や知識を明らかにするとともに、空間的思考の構成要素である空間推論（NRC,2006）の性質を考察することを目的とする。

2. 方法

1) 課題

大学入試センターでは、地学や地理において、空間表現を利用した問題が頻出されており、その他にも生物、物理、英語等で空間的思考を要求する問題が出題されている。過去約 15 年の出題集の中から、理科（理科総合、生物、地学）地理の中で比較的教科特有の知識を要求することが少ないと思われ、空間表現の読み取りや空間的推論が必要だと考えられる問題を 12 題選んだ。実際には実施時間の関係で、実験参加者全員が共通して取り組んだのは 6 問（小問を入れると 9 問）であった。このうち、空間的な広がりを出題内容とし、解答過程が比較的複雑である地学（うち一題は理科総合として出題）と地理の合計 3 問を分析の対

象とした。3 問の特徴は以下のとおりであった。

「GIS 問題」

GIS により作成された富士山の鳥瞰図を元に、凹凸、標高、傾斜の違いが白黒の濃淡で示された地図、およびぼかし式の 4 地図から、傾斜と標高の地図を解答する問題であった。解答にあたっては、富士山における上記の特徴の分布を地図化し、それに対応する地図を発見するために、空間表現の理解と表現の生成が必要とされると考えられる。富士山については大学生も含めてほとんどの日本人はその形状を知っていると思われる。また、詳細な知識は乏しくても、与えられた鳥瞰図から解答に必要な特徴は得られる。

「人口分布問題」

ボストンの収入属性の分布図を元に、黒人の居住割合分布図、25 歳以下世帯割合の分布図、通勤に自動車を使う割合の分布図に相当する地図を回答する問題（地理）で、空間的なパターンを概念化したり、逆に特性から分布をイメージする視覚化の能力が問われるとともに、都市の地域特性についての一般的知識や、収入と年齢や自動車利用などの関係についての推論が必要だと考えられる。

「地質図問題」

地表面の岩石分布境界を回答する理科総合の問題で、領域的には地学の問題である。地形図の河川上に 3 点が示され、そこで見いだされるれきの種類が与えられている。そこから地表面における岩石分布の境界線を考える問題である。大雑把な分布は問題文よりほぼ自明だが、最終的な解答の絞り込みには、地形によるれきの移動など、空間的な推論が重要な役割を果たすと思われる。

2) 実験参加者

実験参加者は教育学部 3 - 4 年生 7 名、地学の大学教員 1 名、理科の高校教員 1 名、地理の大学教員 1 名であった。

3) 手続き

実験参加者には、実験の趣旨を説明した後、A4 のページごとに印刷された問題を発話思考法により回答してもらった。また発話が不十分だと思われる時は、事後の質問により解答過程を確認した。



図 2

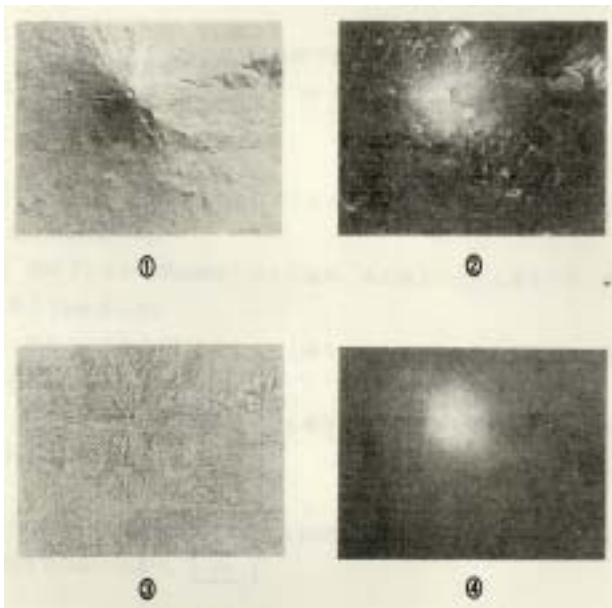


図 1 :「GIS 問題」の参考図(上)と選択肢(下)

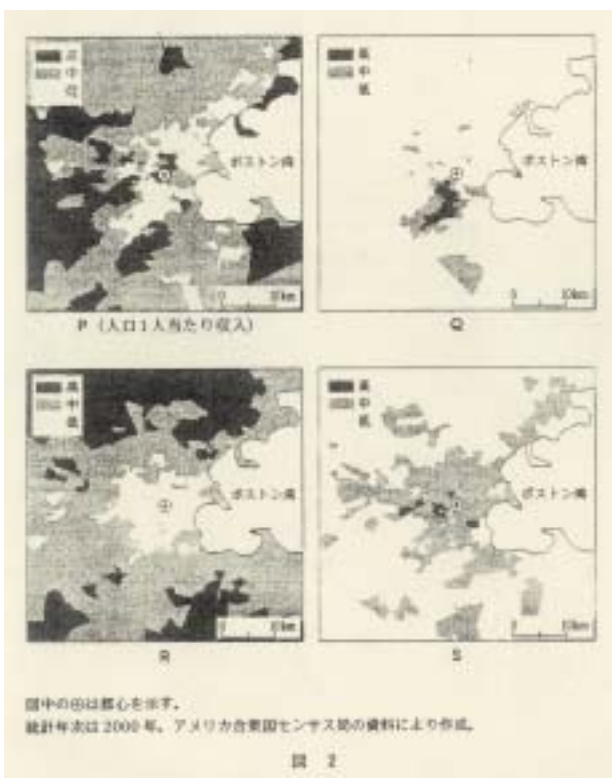


図 2

図 2 :「人口分布問題」の選択肢

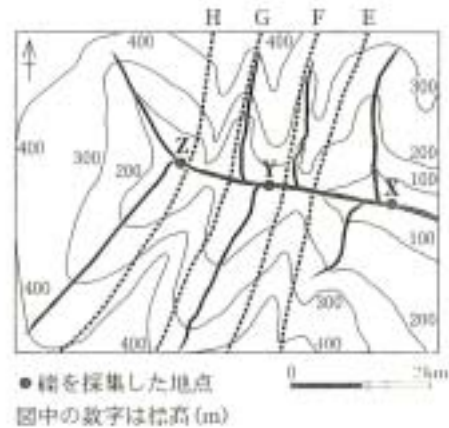


図 1

図 3 :「地質図問題」の出題図

3. 結果

1) 正答率等

共通に解答された9問の学生の正答率は0.22から1.00で、平均は0.48、教員群の正答率は0.67から0.89で平均は0.83であった。また対象とした3問の正答数は「地質図問題」では学生、教員ともに2名が正答であったが、後に触れるように、解答過程で合理的な解答理由を指摘できた参加者は、不完全ながら学生・教員とも1名ずつであった。「人口分布問題」では、学生の正答者は4名なのに対して教員は3名であった。また「GIS問題」では、「傾斜」「標高」とも正答者は学生では2名、教員では4名であった。

2) 解答過程の概略と代表例

「地質図問題」

与えられた条件より、れきPQの分布境界がZYの間にあり、れきQRの分布境界がYXの間にあるところまでは、ほとんどの参加者が絞り込めていた。この過程は、問題文の読み上げを除くと十分な発話がなく、どのような認知過程を経ているかは十分明らかではない。この結果、ZYの間にはHとGという二つの選択肢、またXYの間にはFとEという二つの選択肢があり、4つの候補が残り、その先の絞り込みが必要になる。

正答にいたった参加者Aは「Zの時に見つからなかった、Pだけってことは、Hじゃあ近いよね。」

H 近いから、だったら見つかる可能性もあるよね。だから、G。」と、不完全ながら推論の根拠が示されている。また、参加者 X も「もし H に境界線があったらそのすぐ東側に分布する Q の礫が、多少動くかもしれないと思ったので。でも前提としては、あ、でも、尾根を越えて隣の谷に転がることはないというんですが、ここにあまり高低差がない、例えば、大水が出たとなると動くカナとおもったので。後はこういう風に...ちょっと地形のところで横に転がったりするかなと思ったので、もう少しはなれたところにしました。」と発話し、もし境界が H にあった場合れき Q が Z で見つかる可能性を示唆し、正解に至っている。

一方、正解に至らなかった参加者は、支流との関係がなんらかの手がかりになることには気づくものが多かったが、尾根筋から転がるれきが混入することには気づかず、正解に至らなかったり、偶然正解だったケースも見られた。

「人口分布問題」

基準となる図である P (一人当たりの収入高低の分布) との比較によって候補を見つけようとする過程はほとんどの参加者に見られ、また 25 歳以下と黒人の居住割合は収入が低い場所に関連しているという推論もほぼ全ての参加者に見られた。このレベルの粗い分析では、Q と S の両方が該当し、自家用車で通勤する人の分布からはそれ以上の情報は得られないので、Q と S をさらに比較してどちらが 25 歳以下でどちらが黒人の分布かを決める必要がある。正答した参加者 Z は「仮に Q が世帯主が 25 歳未満の世帯の割合だとすると、若夫婦がすごい集中して住んでるという事になるので、ちょっとそれはあんまり無いかなという気がしますね。・・・地理的な問題で出しそうな、スラム街とかそのへんのことを教科書で扱っているだろうことを想定すると、黒人がこの辺に集中してるっていいたいんであろう」という理由で S を 25 歳以下と考えているが、一方不正解であった参加者 X は「学生だったら市街地にいるのかな? 大学とかがあったら」、また参加者 B は「殆どこっち (Q) だと黒人がボストンには殆ど居なくなっち

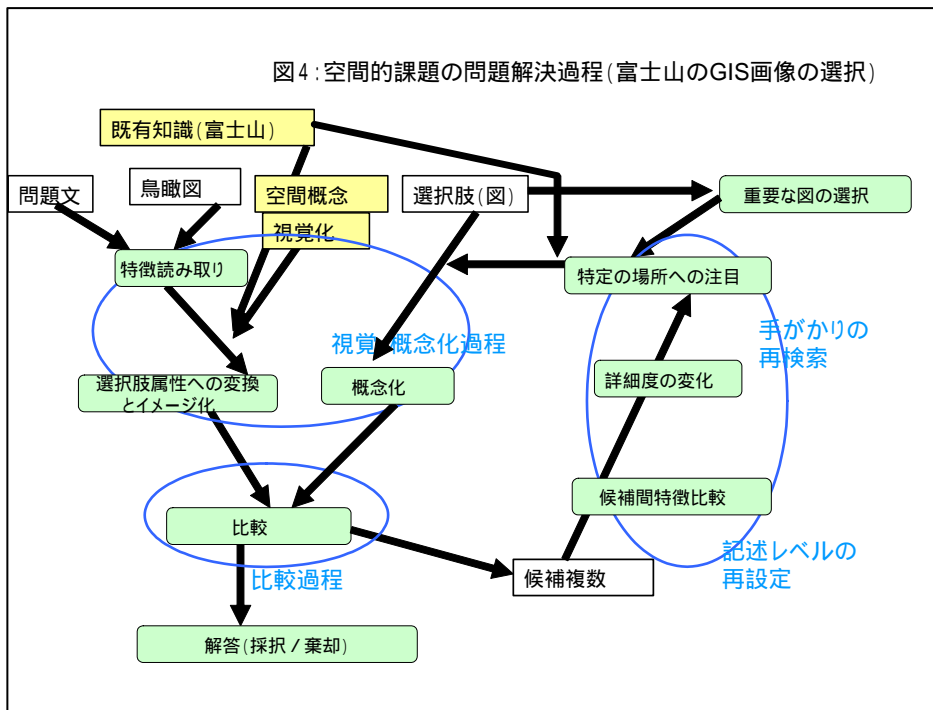
やう気がするな。・・・やっぱ、...黒人は固ま...そんな固ま、アメリカいっぱい黒人居るから」と理由付けし、S を黒人の分布と考えている。

「GIS 問題」

「標高」である 4 と「傾斜」である 2 を取り違える参加者が 2 名みられ、さらに 2 名は 2 を「標高」と解答した。

教員群の中で、もっとも解答過程が表現されている参加者 Z の解答過程の概要は以下のとおりである。前半では、「ぼかし」と「凹凸」に対応する選択肢を探し 1 と 3 と解答した。その後、残った 2 と 4 に対して、「どう区別するか」と自問し、「どっちも富士山の中央付近が白いんだけど」と、両方が候補になることを確認したのち、「ヒントになるのが、この宝永火口の、横っちょにあいてる大きな穴ですね。これが真っ白になってるっていう事は、そんなに、えーと、頂上に比べて高くないのに、白くなってるっゅーことは、標高ではない」と解答している。同様に、2 と 4 が似ていることと、それを区別する情報を探した発話が参加者 W、Y にも見られた。また、学生群で正答した A では、「傾斜は、なんか、急とか、急なところとか、そうじゃないところとかバラバラにあるなという印象だったので、あ、2 番だなと思って。そのあと、標高高いところが白ってあったので、1 番と 3 番を見たら、白い所、標高が高いのは山なんで、やっぱり一番上は標高が高いはずなのに、白い所が別のところにもあるし、3 番は線みたいなしかないの、って考えたときに、あ、4 番は周りが黒いのは標高が低いから黒いんだ、と思って」と、図的选择肢の比較による記述レベルの再設定と絞り込みが見られた。

一方学生群では、不正解であった 4 名は、こうした図的選択肢の詳細な比較が見られないか、あるいは詳細に検討した結果、「2 の方がなんか高さが分りそう」(参加者 B)、「なんかこの、白く丸くなってるのが、山を示してる、山を上から見たのを表してるのかな」(参加者 F)、「標高の所だと、高いところ程白だったので、全体が黒っぽいというので 2、4 だったんですけど、図 2 のこの、ポ



こっとしたところが、明確に現れているのがこっち(2)」(参加者E)として、「標高」の解答として2を選択するに至っている。解答の過程をモデル化したものが図4である。

4. 考察

1) 視覚化と概念化

いずれの問題でも、問題文からの空間的視覚化が見られると同時に、図的な選択肢の多様な特徴の中から重要だと思われる特徴を抽出し、概念化する操作が見られた(都心のそばに集まっている、ぼこっとしているところがある)など。問題文からの視覚的イメージ化は多くの場合かなり粗いレベルだと考えられる。たとえば「人口分布問題」では、収入が低いと学生が多い、収入が低いのは黒人が多い(だから収入の分布図とは逆)あるいは、「GIS問題」では、中心が高い、傾斜が急(だから中心が白い)といった発話がなされている。従って、図的な選択肢との照合に十分な精度が得られないケースが多かった。一方で、図的な選択肢の概念化が比較する上で重要な役割を果たす場面が見られた。過程の前半では、図的な選択肢の特徴の概念化は粗いレベルで行われるが、後にも触れるように、後半では、候補の比較を通して、記述レベルの再設定と概念化が見られる。この点につい

ては、後に触れる。

「地質図問題」では、PQRの岩石が概ねZYX周辺に対応しているところまでは、どのような推論が利用されたかは発話からは十分明らかではないが、YやXでその周辺では分布しないれきが採取可能であることが説明されていないことを考えると、地形によりれきが上流から下流に移動する視覚化が行われたと考えられる。

2) 比較過程

言語的情報が視覚化されたり、図的な選択肢が概念化されたあと、解答を得るための両者の比較照合が行われる。しかし、取り上げた3問では、いずれも初期の比較過程では、解答が一つに絞れない参加者がほとんどであった。これは、前述したように、視覚化や概念化のレベルが不十分だからであった。

これを明確に意識した参加者は、必要な特徴を見つけるための手がかりの再検索に進んでいる。

3) 手がかりの再検索

取り上げた3つの問題では、当初の「解答選択過程」で回答候補を一つに絞り込むことが難しかった。この際、唯一の解答を得るために新たな情報が必要とされるが、解答の選択肢が図的に与えられている「GIS問題」や「人口分布問題」では、選択肢の比較からそのための情報を能動的に取り出すため、記述レベルを再設定し、絞り込みの手がかりを再検索する過程が、一部の実験参加者に見られた。

一方で、これらの問題のように選択肢の違いが明示的でない「地質図問題」では、支流との関係が手がかりであることには気づいていたが、そこからのれきの流入について十分な検討が行われないため、手がかりの再検索がうまく機能せず、正

解に至りにくかったものと思われる。

4) 空間的問題解決の特徴

空間的思考は、比較的良好に研究が行われている数学・理科の問題解決とどのような違いがあるのだろうか。論理・数学的、あるいはパズルの問題解決は、問題の制約による操作子と状態によって作られた問題解決空間内での自明でない初期状態から目標状態への系列の空間探索と考えることができる(たとえば、Anderson,2010)。また解答全体の過程では、言語的な知識やスキーマを利用した問題全体の表象を生成することの重要性が示唆されている(たとえば、鈴木ら,1989)。理科や数学において、問題全体の表象が正しく形成されれば、後は既習の計算手続きを適用するだけである。一方、空間的問題解決では、問題解決空間は問題の制約による操作子と状態によって確定されたものではない。また数学や理科での計算に相当する表象の変換により新しい状態を得る手続きは既習のものではなく、与えられた問題環境の中で適切な概念化/視覚化の表象レベルを設定する必要がある。この点が空間的問題解決の中心にあると考えられる。

以上のことより、空間的な問題解決過程の特徴は、「手がかりの再検索」過程にあり、その背後には、選択肢間の比較による記述レベルの再設定が重要な役割を果たすことが多いと考えられる。これは空間表現がアナログ的なものであるのに対して、それに対応すべき情報が言語という離散的な情報で表されていることも一因だと考えられる。言語情報を視覚化したり、空間表現を概念化するための記述レベルは、最初から自明な訳ではない。選択肢などの与えられた情報の中で、適切なレベルを設定する必要があり、それが比較過程を通して初めて明確になるため、このような記述の再設定と、それを通しての適切なレベルの概念化が必要になると考えられる。

記述の再設定は、利用された課題が入試問題という形式だったためだとも考えられる。その一方で、自然の中でのナビゲーションでの現在地把握課題でも、複数の候補がある場合に似たような

記述の再設定やそれに基づく手がかりの再検索とそれによる絞り込み過程があることが報告されている(Murakoshi, 1985; Pick et al.,1995)。このことから、記述レベルの再設定と手がかりの再検索過程は、入試問題という特別な課題だからではなく、アナログ的な空間課題の中で正解を絞り込む必要があるために出現したと考えられる。

4) 空間的「誤概念」について

力についての誤った概念である誤概念が力学の問題解答に阻害的に働くことが指摘されている(たとえば、Kaiser et al., 1986)。本研究のGISによる「傾斜」「標高」の分布図を選択する問題でも、比較的単純な空間概念である「標高」と「傾斜」の間に一種の誤概念的混乱が一部の学生参加者に見られた。傾斜と標高の分布図を間違えた数人の学生は、「ぼこっとしているところが白く表現されているから」といった理由で傾斜の分布図を標高の分布図と誤って選択している。しかし、彼らが「ぼこっとしている」と指摘するのは周囲に対して特徴的に高いという意味であり、その意味では傾斜に近い概念である。

空間的問題解決は、空間概念によって支えられている(NRC,2006)。一般的に空間概念は、抽象的操作期の成人であれば十分身に付いているとかんがえられるが、具体的場面においては必ずしもそうではなく、なじみのない概念の場合、変化と絶対量の混乱などによる誤概念が発生するという知見が得られた点は、本研究の成果だと考えられる。

5. 結論

7名の学生と4名の地学または地理の教員に対するセンター入試問題の発話思考法による検討の結果、空間的問題解決の特徴として、記述レベルの再設定に基づく手がかりの再検索過程の存在が見いだされたが、これはアナログ的な空間課題で正解を絞り込むことが必要な問題構造を反映したものと考えられる。

また、なじみのない空間概念の場合、物理学の力の場合に似た誤概念が発生する可能性が示唆さ

れた。

[9]吉田たかよし (2003) できる人は地図思考
日経BP社

参考文献

- [1]Anderson, J. R. (2010) *Cognitive psychology and its implications*, 7th ed. Worth Publishers.
- [2]Hegarty, M. & Waller, d. A. (2005) *Individual differences in spatial abilities*. In Shah, P. Miyake, A. (Eds.) *The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking*. (pp. 35-80). New York, NY, US: Cambridge University Press.
- [3] Kaiser, M. K., McClosky, M. & Proffitt, D. R. (1986). Development of intuitive theory of motion. *Developmental Psychology*, 22, 67-71.
- [4]Murakoshi, S. (1988). Information processing in photo-orienting. *Scientific Journal of Orienteering*. 4, 14-33.
- [4] 村越真・小林岳人(2002) 地形図を使った読図問題解決における既有知識の役割 静岡大学教育学部研究報告(人文・社会科学篇) 52, 239-252.
- [5]村越真・小山真人 (2006). 火山のハザードマップからの情報読み取りとそれに対する表現方法の効果 災害情報,4,40-49.
- [6]National Research Council (2006) *Lerining to think spatially*. The National Academies Press. Washigton D.C.
- [7]Pick, H. L, Heinrichs, M. R., Montello, D. R., Smith, K., Sullivan, C. N., & thompson, W. B. (1995) *Topographic map reading*. P. Hancock, & J. M. Flach (Eds.), *Local applications of the ecological approach to human-machine systems*, Vol. 2. Resources for ecological psychology. (pp. 255-284). Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates, Inc. xv, 470 pp
- [8] 鈴木宏昭・鈴木高士・村山功・杉本卓(1989) 教科理解の認知心理学. 新曜社