

空間的問題解答時の空間的思考の特徴とそのプロセス

| | |
|-------|---|
| メタデータ | 言語: Japanese 出版者: 静岡大学教育学部 公開日: 2012-03-26 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 村越, 真 メールアドレス: 所属: |
| URL | https://doi.org/10.14945/00006487 |

空間的問題解答時の空間的思考の特徴とそのプロセス

The process and characteristics of spatial thinking while solving spatial problems

村 越 真

Shin MURAKOSHI

（平成 23 年 10 月 6 日受理）

Abstract

This article investigated the process and characteristics of spatial thinking while solving spatial problem of geography, geology, and biology from the national standard university examination. The participants are 6 students and 4 teachers/university professors of geology or geography. They were asked to solve from nine to twelve problems and think aloud method was used for collecting data. The analysis of verbal protocol revealed that extraction of proper information and visualization at relevant level are included in the process. The process was examined from three components of spatial thinking; spatial concept, representation tools, and spatial reasoning. Mis-conception which is similar to that of physics problem was also reported.

Keywords — Spatial thinking, problem solving, level of visualization, mis-conception

1. 緒言

1.1 なぜ空間的思考か

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構成要素として空間的能力が指摘されてきた（例えば、ガードナー,2003）。Hegarty & Waller（2005）では、空間能力に関するテストに基づく因子分析的研究をレビューし、「視覚化」と「空間関係の把握」が一貫して見いだされるとともに、「空間定位」や「曖昧図形の発見」が、下位テストの内容によっては見いだされることを指摘している。空間的能力と一言でいっても、その内容もまた多次元的だと考えられる。

Hegarty & Waller（2005）の研究は「紙と鉛筆テスト」に基づく一目で把握できる空間に関するものであるが、大規模空間での移動の背後にも空間能力があると考えられている。初期の研究は、ピアジェの発達理論の影響を受け、大規模空間移動の背後にあると仮定される認知地図の発達・学習が精力的に研究されると同時に（レビューとして、村越,1992）、日本では「方向感覚」として、空間移動を支えるスキルが検討されてきた。方向感覚に関する質問紙的研究によって「方位と回転」「記憶と弁別」（竹内,1990,1992）という二つのある程度独立した因子が見いだされた。また、それとは独立した「土地勘」ともいえるべき方略的なスキルの存在も示

唆されている (Murakoshi & Kawai, 2000)。Allenら (1996) は、基礎的な空間能力と大規模空間の理解や行動との関係を検討し、両者は直接的な関係がないものの、空間系列的な記憶や視点取得の反応時間を媒介して、関連していることを明らかにしている。

これまでの研究では、空間能力はその対象である空間の理解とそれに対する適応的行動という視点で研究が進められてきた。これに対して、近年、空間の特性を道具的に利用した問題解決の重要性が指摘されてきた。これが空間的思考 (National Research Council, 2006) である。空間的思考への注目が高まった背後には以下のような理由があると思われる。

第1の理由は、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 (National Research Council, 2006)、ウィリアム・スミスによる地質図の作成 (Winchester, 2001)、スノーによる地図の利用 (ジョンソン、2006) は、いずれも空間的に考え、表現することが新たな発見をもたらし、情報伝達にも効果的であった例と言える。より日常的な文脈の中では、古くはKJ法 (川喜多、1967) に見られるように、空間的に考えることが、問題を整理し、その解決法を得たり、新しいアイデアを得る方法として提唱されてきた。土木建設における企画段階での地形図の読解 (例えば、鈴木、1997) やGISによる様々な問題解決など、日常的な創造的活動で空間的思考の果たす役割は大きい。

第二の理由は、ITCの進展で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り、空間表現の理解や利用が必須になった点である。ウェブでは日常生活での移動に欠かせない豊富な地図が無料で配信されている。さらに、気象情報やハザードマップや安全マップなど、これまで一部の専門家の内部に留まっていた情報が地図化され、一般市民に供されるようになった。これらは日常的な安全行動や、水害や火山災害などの緊急時の問題解決を促進かつ効果的にすると期待されている。その一方で、これらの地図が必ずしも作成者の意図通りには一般市民に理解されず、適切な問題解決につながっていない (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という視点が欠かせない。

第三に、空間情報の読み取りが、一般的な問題解決能力の育成という観点から学校教育において注目されている点である。空間的スキルがその学習内容である地理、地学、数学に加えて、空間表現を読み取り理解・活用する課題が、PISAの問題や中学校入試の総合問題でしばしば出題されている。文章と図表を統合して読むことが要求される非連続型テキストについては理科教育や教育心理学の分野で2000年前後から、解答過程やそれに影響する要因などが、少ないながら検討されている (例えば、岸ら、2011) もの、その背後にどのような認知能力や過程が要求されているかは、論理・数学的な思考に比較すると未だ十分に明らかになっていない。

1.2 空間的思考とは

空間的思考とは、空間的概念、空間表象、空間的推論の統合的混合物である (National Research Council, 2006)。第1の要素である空間的概念は、ピアジェ流には生得的あるいは発達的に獲得される空間把握の様式だが、Golledgeら (2008) はこれを生得的な概念である *primitives* と、学習によって獲得される *derivatives* として区別し、生得的な概念として *identity*, *location*, *magnitude*, *time-space* を挙げている。しかし例えば、*primitive* の一つである *Identity* は、□を「四角形」という言語的ラベルに対応させる場合には、生得的な基盤に多

くを負っていると考えられるが、地図記号の指示物を現実環境の中で同定する場合には、ある対象が「建物」と対応しているかどうかは、大人にとっても挑戦的な課題でありえる。さらに高次の派生的概念がどのように学習・獲得され、利用されているかは、空間的思考の発達を考える上では重要な視点である。

第2の要素である空間表象については、表現ツールの理解と利用が問題となる。地図、図表、グラフといった表現ツールを利用して空間的情報の理解・伝達、それを利用した問題解決ができるためには、空間概念や基礎的な空間能力が必要だと考えられるが、他方、空間表現はツールとして空間的推論に利用される。空間的発想法が書籍として紹介されるということは、裏を返せば、空間表現がツールとして一般には十分に活用されていない実態を示唆しているとも言える。

第3の空間的推論は、空間的に表現された事象を利用して、自明でない妥当な結論を導き出すプロセスである。その背後には、非連続的で誤差の多いデータから適切な空間表象を作り上げ、そこに空間的パターンを読み取り、さらにそのパターンが生成されたプロセスを推測する過程が含まれている。

空間的思考は、これまで空間認知研究の中で研究されてきた様々な概念と無関係ではない。たとえば、視覚化、定位、空間関係の把握、把握のスピード・柔軟性、知覚スピード、視覚記憶等の基礎的な能力は、空間表現の理解や活用に必要なと考えられると同時に、高次の空間概念の獲得にも重要な役割を果たしているかもしれない。大規模空間での移動は、認知地図の研究により、知識の問題に還元されてきたが、「未知の空間での道探し」因子 (Murakoshi & Kawai, 2000) は、大規模空間の移動にも抽象化された空間的知識が利用されていることを示している。また、エピソード的ではあるが、ある種のナビゲーション方略 (村越, 2003) は、大規模空間の移動においても空間的思考が見られることを示している。空間的思考は、これらの背後にある認知処理を統合した枠組みで検討しようとする考え方とも言える。

1.3 指導要領に見る空間的思考

地理では従来から、地理的な見方や考え方の基礎を培い、地理的認識を養う、あるいは、地理的な見方や考え方の重要性が指摘され (澁澤, 2000)、読図や作図、景観写真の読み取りなど地理的技能の獲得が謳われてきた。地理的考え方や地理的技能とは事象を位置や空間的な広がりとのかわりかかわりで地理的事象として見出すことであり、地理的考え方とはそれらの事象を地域という枠組みで考察することである (文部省, 1999)。これらは空間的思考そのものと言える。また、理科や幾何のように、学習対象そのものが空間である教科はもちろん、外国語、国語から美術・体育等の実技教科に至るまで幅広い領域で空間的思考に関連する学習内容が、学習指導要領では設定されている。これを空間的思考という視点から整理してみよう。

①空間情報からの特徴の把握

地理で指摘される読図や景観写真の読み取り、分布図の読み取りでは、ノイズのあるアナログ情報から適切な特徴に着目するスキルが必要だと考えられる。直接言及されていないものの、体育のボールゲームでの「ボール操作と空間に走り込むなどの動きによってゴール前での攻防を展開」も、同様のスキルを要求すると考えられる。実際、空間から適切な情報を収集することがボールゲームで重要な役割を果たすことは状況判断研究 (中川, 1985) の名の下に1980年代に数多く研究されている。

②事象間の関連法則の発見と理解

空間的に広がる事象間の関連法則の発見は、幅広い教科の内容となっている。中学校地理では、「(人々の生活の様子と変容を) 自然及び社会的条件と関連付けて考察させ」ること、高等学校では「地域には類似性や空間的な規則性などが見られること、分布からいくつかのまとまりで捉え」させることが、含まれている。

理科でも、中学校理科の第1分野では、光の屈折、凸レンズの働き、物体の等速直線運動など、現象を空間表現化することで、そこから法則性を見つけ出すことが取り上げられている。高等学校の力学や波動のように、明示はされていないものの、空間的表現の理解やそれを通した推論が必要になる内容は少なくない。

③空間表現の理解と生成

中学校では数学の幾何、理科の磁界と磁力線の理解、力の合成と分解、地学分野では、天体(特に月)の運動の理解や気象の特徴などが内容に含まれている。高等学校では、自然現象を気温、気圧といった基礎的な環境指標と関連づける内容が理科で示されている。これらは明示されていないものの、グラフの理解をその基礎に持つと考えられる。技術分野では、製作品の構想の表示方法の理解やその作成が扱われている。

空間・図的表現のスキルやその工夫も多くの教科で言及されている。地理、数学、技術家庭はもちろん、高等学校では国語で、「調べてまとめたことや考えたことを伝えるための資料を、図表や画像なども用いて編集すること」が取り上げられている。

④ナビゲーション

日常生活の大規模空間における空間情報の理解や空間的思考の代表例がナビゲーションである。高等学校地理の解説において、地形図や市街図、道路地図、案内書の地図などに慣れ親しみ、地図を頼りに歩く技能を身につけることが上げられている。また中学校の英語では、英語を利用する場面として「道案内」が取り上げられている。

1.4 問題点と本研究の目的

空間的思考を包括する内容が多岐にわたる教科で学習されているものの、問題解決において、学習者が実際にどのようなプロセスによって空間的思考を行うのかは十分に吟味されていない。これらを検討することは、空間的思考育成の一助となるとともに、センター入試や中等学校の入試で経験的に利用されている課題の妥当性を検討する手がかりになると考えられる。

空間的思考を含む問題解決過程に関する研究は、認知心理学の分野でも散見される。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た。しかしこれらの研究は、いずれも領域固有の知識に大きく依存する問題を元にしており、主として既有知識の働きを検討している。空間的問題解決を推論という視点から再検討することは、認知心理学的にも興味あるテーマである。

そこで本研究では、中等教育段階の終わりに位置づけられる大学入試センター試験の問題のうち、空間的な表現を活用した問題を素材として、その問題解決過程の特徴を明らかにすることを目的とする。

2. 問題解決における空間的思考

2.1 課題

大学入試センターの過去約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く、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。実施時間の関係で、実験協力者全員が共通して取り組んだのは3問であった。それに加え、空間的思考を把握する上で手がかりとなり、比較的多くの協力者が解答した4問を加えた7問を分析対象とした。以下に各問題の内容と特徴を示す。

①「GIS問題」(地理)

GISにより作成された富士山の鳥瞰図を元に、やはりGISにより作成された4地図（凹凸、標高、傾斜の違いが白黒の濃淡で示された地図、およびぼかし式地形図）の中から、傾斜と標高に相当する地図を解答する問題であった。解答に際しては、富士山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の空間表現の理解と生成が必要となる。富士山についての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。

②「人口分布問題」(地理)

ボストン周辺の収入の高低の分布図を元に、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解答する問題（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、収入と年齢や自動車利用などの関係についての一般的な知識と推論が必要だと考えられる。

③「地質図問題」(理科総合)

地形図の河川上の3点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理科総合の問題である。大雑把な分布は問題文からほぼ自明だが、最終的な解答の絞り込みには、地形図からの地形をイメージ化し、それによるれきの動きの動的イメージによる空間推論が重要な役割を果たすと思われる。

④食変光星問題（地学）

食変光星の光度変化のグラフから、光度が下がる時の連星の位置関係を選択肢から解答する問題。図の理解とともに、光度変化の理由を食連星の構造から推測して、位置関係を求めることが要求される。

⑤光合成問題（生物）

同じエリアに示される複数のグラフから、光合成速度等に関する設問に解答する問題である。グラフは軸を共有しているため、その中から適当なグラフを選び、適切な目盛り軸に基づき数値を読み取ったり、それに対して計算を正しく実行することが要求される。また選択肢に示された指標がグラフには直接出ていないものもあるので、それらを整理して計算することが求められる。

⑥桜の開花問題（理科総合：生物）

桜の開花日と平均気温や水量との関係を示す二つのグラフに関する選択肢から正しいものを選ぶ問題である。選択肢に対応した適切なグラフを選ぶことが要求されることに加えて、ノイズのあるデータを含む各グラフから全体的な傾向をつかむ必要がある。

2.2 実験協力者

実験協力者は教育学部3－4年生6名、教員4名であった。学生のうち2名は社会科の免許を取得中であった。教員の内訳は、地学を専門とする大学教員2名、地学の高校教員1名、地理の大学教員1名であった。

2.3 手続き

実験協力者には、実験の趣旨を説明し、協力の意志を再度確認した後、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。発話が不十分な時は、事後の質問により解答過程を確認した。多くの場合、解答中の発話は解答過程を推測する上で十分ではなかった。事後に不明な点を質問しながら得た発話が、有力な情報となった。

3. 結果

3.1 正答率等

実施した問題が異なるが、解答を試みた問題中の学生の正答率は0.25～0.83で平均0.49、教員群の正答率は0.44～0.71で平均は0.65であった。

3.2 解答過程の概略と代表例（表1）

①「GIS問題」

「標高」である4と「傾斜」である2を取り違える協力者が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、解答過程がもっとも明確に表現されている協力者TNoの解答過程の概要は表1に示した通りで、複数の解答候補を絞り込む発話が見られた。同様な発話が協力者TKo、TMiにも見られた。Yaでも、やはり2と4に絞った後、「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、・・・、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」と発話しており、選択肢の比較による視覚化の再設定と絞り込みが見られた。

不正解であった学生群4名は、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」（協力者Chi）、「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」（協力者Fu）、「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、ポコっとしたところが、明確に現れているのがこっち（2）」（協力者Ma）として、2を「標高」として選択するに至っている。

②「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の間にあることは、ほとんどの協力者が絞り込めていた。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。

正答にいたった協力者Yaでは表1に示したとおり、不完全ながら推論の根拠が示されている。また、協力者TMi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

表1：各問題の典型的解答発話例

①GIS問題

TNo (正答)

凹凸を見るためには多分宝永火口とかを見ればここが黒くなって、多分そうだろう見たいな。事をいえると思うんですよ。で、2を見ると宝永火口とか真っ白になってるので、凹凸ではありえない。4番もそれは良く分らないので、これも違う、という事はこれが凹凸ということになりますね。で、2と4が残って傾斜と標高。高いところ程白い。それから、傾斜、傾斜が急なところほど白い、うーん。標高と傾斜をどう区別するかですね。えーと、標高であるとなると、高く上げれば上るほど白くなる、はず、ですね、白くなるはず、です。で、どちらも富士山の中央付近がしろいんだけど、ここでヒントになるのが、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、頂上に比べて高くはないのに、白くなってるっゅーことは、標高ではないってことになるので、これは傾斜ですね。で、意外なことに、4番がこれ標高ですか？うっすらと見るとなんかくぼんのようにも見えますが…えーと、という事で、標高が4で、傾斜が2番、

Fu (不正解)

そこらに白が飛び出してると感じだから…しろ(?)だから、2番は標高？違う。標高じゃない。…これは凹凸か。…で、えっと、傾斜、急なところほど白い。この辺は、多分まわりが急だから…急なのはこっちか。急なのはこの山のところは多分急だから…こんな所ほど黒い？(略)、とすると、標高は、傾斜が急なところほど白い。標高、高いところほど白い。高いところほど白い。あ、じゃあ2番が違うのか。高いところほど白い。…(略)…で、へこんでいるところが、あ、凹んでるところが黒いんだから、3番が凹凸かな？で、えっと、どっちにしろ、求めたいのは標高と傾斜だから、えっと、急なところが白い、どっちかって言うと、この山のところが白いはず。で、…だからひょう…標高高いほど、ところほど白い。傾斜は白い、1番は傾斜？で、2番が標高、かな？はい。

(略) 傾斜と標高が、急なところだと白い、っていうのと、高いところほど白いていうのがあったんですが、えっと、2番の方が、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と思ったので、で、周りのほうがこの山よりは標高が低いはずなので、黒くなってるなっていう判断をしたので、標高の方は周りが黒くて、山のところが白いものを選んで、で、最後、傾斜が白いていう方が、右の方が、右？って言うか、白と黒とが半々に分かれてたから、こっちが傾斜かなと思って1番にしました。

②地質図問題

Ya(正解)

Xの河原では、PQRが、YではPQの礫が、Xの河原ではPQRがあるのに、YではPQしかないってことは、RはXで、ZはPだけだから、Zが一番高いのかな？で、P…から、えー、Pは斜面を転がって、Y、Xまで転がってきて、***で、**、**時に、Pが、ん？Pが生産されたんだ。で、Y地点ではQが生産されて、Xでは、Rと。PQR、うん。だから、えーとPとQの分布境界線は、HかGしかないの、***、だから5,6,7,8は消えて、…で、QとRは、E,Fで、で、Zの時に見つからなかった、Pだけってことは、Hじゃ近いよね。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。で、Gを消して、で、同じように考えると、Fだと近いから、E。とすると、GとEの4番。

③人口分布問題

TNa (正解)

M：黒人と25歳未満で少し迷われたみたいです

えーと、黒人のほうが、より集住しやすい、集まって暮らしやすいと考えました。しかもここ、大学が多いところですので、大学は各地に散らばっている、というふうに思われますので、その周辺に、25歳未満ということは、大学生と言う可能性が高いので、Sの、より広範囲に分布しているSのところに25歳未満、それから、黒人は一箇所に集住しやすいという傾向がありますのでQが黒人の可能性が強いのではないかと思います、2という結論に。

④食変光星問題

(被験者Tna) 不正解

えーと、…視線が右から投げられていて、一番暗くなるという事は、一番食、影に入っているという事だから、一番暗く、何が暗く見えるのか。伴星が？Aのように一番暗く見えるのはいつですか。…えー、一番暗くなるという事は、主星から遠くなる時ということ、ではないかと思われるので…3。

Fu (正解)

視線が右からで、最も暗く見える…一方の星が他方の、どっちが隠してもいいわけだから、で主星の方が明るくて、恒星、じゃない伴星のほうが暗い。一番暗く見えるのは、くらしいのが前に来たときのほうが、暗く見えると思うから、1番？

⑤光合成問題 (選択肢2)

Chi (不正解)

(2) 9時から11時にかけて、見掛けの光合成速度の上昇よりも、上昇してないじゃんだって。あー違うんだ、してるかも知れないんだ、上がってるんだ。何でこんな面倒くさい事を。あ、じゃあ、やり直せばいいのかな？うー、面倒くさい、面倒くさい。んーと、13の時は、2だっけな？2。んー？んー。この倍くらい？こころ辺？9時の時は8。…で、うーん。なんかいいのかなこんなん。コレくらい？うんじゃあ、見かけの光合成速度こういことか？もう分らない。…、見かけの光合成速度の上昇よりも、蒸散速度の上昇の方が大きいので、P/Tが低下する。うーん、でも。分らない。

⑥桜の開花問題

被験者TNo(一部正解)

で、両期間共に2月の平均気温が高いほど開花日が遅くなる傾向がある。…えーと、2月の平均気温のグラフが書いてあるのが図3でありまして、で、平均気温が高いほど開花日が遅くなるのであれば、グラフと言うのはだいたい直線を引くと、遅くなるんだから、右肩上がりになるはずなので、これは×です。

で、両期間共に2月の降水量が多いほど開花日が早くなる傾向がある。えと、これは図4を見ればいいわけですね、で、2月の降水量が多いほど、開花日が早くなるのであれば、右肩上がりのグラフにならなければいけないんだけど、全然プロットにその傾向は見られないので、これも×。

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かなと思ったので。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ている。一方、正解に至らなかった協力者は、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、境界線の位置によっては、尾根筋から転がるれきが上流の地点に混入することには気づかず、正解に至らなかった。

③「人口分布問題」

ほとんどの協力者は、基準となる図であるP（一人当たりの収入高低の分布）との比較で候補を見つけようとした。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協力者に見られた。しかし、このレベルの粗い分析では、QとSの両方が該当する。正答した協力者TNo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歳以下とした。やはり正解であったTNaは表1に示すように、ボストン固有の知識を利用して、大学生の方がより広い範囲に住む可能性に言及している。

一方不正解であった協力者Chi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」、また協力者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ゃう気がするな。…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た。

④食変光星問題

上図のAが最も暗い時であることは問題文に明示されているので、連星の位置関係を示す図からもっとも暗く見える配置を見つけることが課題である。不正解の主たる原因は、TNaのプロトコルに見られるように、暗い方の伴星が「隠れた時」に最も暗くなると考えた点にある。これは変光星の基本的原理が十分に理解できていないためだが、一方で、与えられた情報と問3の図を合わせると、変光の原理を推測することや、どの状態が最も暗くなるかを推測することは可能である。協力者Fuは、食連星や変光星については、解答前の実験者への質問から、食変光星やその原理についての既有知識はないものと考えられるが、「伴星のほうが暗い。一番暗く見えるのは、暗いのが前に来たときのほうが、暗く見えると思うから」と、発話し、正解に至っている。正解に至らなかった協力者は、図的表現が理解を促進する機能を十分に果たさなかったことも一因だと考えられる。

⑤光合成問題

この問題は、複雑な図表を相互に参照しながら解答する問題である。問4に関しては、選べべき選択肢の両方とも正解した協力者は1名であった。典型的な誤答パターンとしては、表1に示したように、図中には示されていない「見かけの光合成速度」をうまく求められないもので、それにより途中で諦めるケースも見られた。個々の操作は協力者の知的スキルの範囲内だと思われるが、図から得られる情報を整理して対応させていないことが不正解につながっており、内的資源の制約に対応した方略を採らないことが不正解の大きな原因と考えられる。

⑥桜の開花問題

全員正解であるが、思考プロセスには協力者間の違いが見られる。TKoは、「平均気温と、降水量。まあざっと見て平均気温とは相関があって、降水量とはあんまり相関が無いという事が分ります」、あるいはTNoは「えーと、2月の平均気温のグラフが書いてあるのが図3であり

まして、で、平均気温が高いほど開花日が遅くなるのであれば、グラフと言うのはだいたい直線を引くと、遅くなるんだから、右肩上がりになるはずなので、これは×です」と、問題文に合うはずのグラフを明確な形で概念化しているが、そのような概念化が明示的に見られない協力者も多かった。また問4の選択肢4のように、示された多数のデータの概略化を要求される場合、それがうまくできていない被験者も見られた。「なんか、最初図の意味がうまく理解できなかったのでもっと時間がかかったんですが」という発言をする協力者もいることから、複数の図から適切な図を選ぶことは一定の困難を伴っていた。

4. 考察

発話プロトコルより、地図や図表といった空間的な表現を含む問題解決における空間的思考の特徴として、以下のような点が指摘できる。

4.1 ノイズをともなう情報からの適切な情報の取得

学習指導要領の地理や理科で触れられている観察されたデータからの規則性の発見や理解の根底には、ノイズを含むデータから意味のある情報を選択するプロセスが必須だと考えられる。実際、入試センターの図的表現を含む問題でも外れ値やノイズがあり、そこから適切な情報を抽出することが要求されていた。

空間的な問題解決において特徴的なのは、適切な情報の抽出は一意には決まらず、問題解決過程でしばしば「適切さ」の調整が行われる点である。たとえばGIS問題や人口分布問題は、いずれも解答の初期には、答が一つに絞れない協力者がほとんどであった。これは、情報抽出のレベル設定が後述するように不適切だったからだと思われる。解答過程でこれを明確に意識した協力者が、情報抽出レベルを再設定し、解答の絞り込みの手がかりを得ようとする過程が見られた。そして、抽出された特徴は、例えば「都心のそばに集まっている」、「ぽこっとしているところがある」などのように概念化されることが多かった。

図や表の場合、何がノイズで何が適切な情報かは、図表を構成する次元を注意深く見ることによって把握可能である。一方で地図や写真では、何が適切な情報かは必ずしも自明ではない。たとえばGIS問題では、一見ノイズのように見える富士山周辺部の白いまだら模様が、傾斜と標高を見極める重要なポイントになっている。後でも触れるように、ノイズと適切な情報の区別は課題の文脈に影響を受けている。地図の多くは汎用性を持ち、またアナログ的であり、ノイズを自然に導入しやすい。このため、教科で学習する基本的な知識をノイズの中で適用するという点で、応用的なスキルを試すことができると考えられる。

4.2 視覚化とそのレベルの設定

空間表現を含む問題では、異なる抽象度を持つ表現の対応が要求されることが多い。人がいかにそれらに対応するかは認知心理学の視点からも関心が持たれている（たとえば、Pick et al., 1995）。本研究で扱った入試問題のいくつかは、言語と空間表現ないしは異なる抽象度を持つ空間表現であったが、いずれの問題でも、問題文や課題図からの視覚化は、多くの協力者でかなり粗いレベルであった。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。これは、異なる抽象度を持つ表現間では、その対応のための情報をあらかじめ決めることができないことにも依存している。従って、空間的思考で問題になるのは、基礎的な視覚化というよりも、むしろ視覚化のレベルをどう設定するかにあり、それに気づき、対応できたかどうかは、解答の成否に大きく影響していた。

「地質図問題」では、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ければなら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動的なイメージ化に基づく推論が行われたと考えられる。一方で、可能性のある二つの境界から一つに絞り込む過程については、10人中8人が不正解であり、他の二人も明確な理由を述べられていない。このことから、等高線による地形のイメージや地形の傾斜によりれきがどのように転がるかの動的イメージは十分に生成できていない。どのような課題条件、あるいは個人的属性が動的イメージの生成と空間的思考への利用を可能にするかは、教科教育という視点からも興味深い検討課題である。

4.3 図的表現を通した原理の理解（連星）

図的な表現は解答すべき選択肢であると同時に、問題を理解し、解答を得るための枠組みともなりえる。これは空間的思考の枠組みの中で捉えると、表現ツールを推論の道具として利用することに相当する。食連星の問題はその事例と言える。不正解であった3名は、主星がより暗い伴星を隠す時を一番暗い選択肢として選んでいた。このうち協力者Chiは、理解の過程で実験者との対話による介入を受けているが、その中で食変光星の原理を月食や日食の比喻で捉えようとしていた。それが誤った解答につながった可能性が考えられる。一方協力者Fuは、冒頭で食変光星の概念を理解していないことを露呈しているが、選択肢の図から、それぞれの場合に明るさが異なることを推測し、正解に至っている。図が理解を促進し、光度の違いを推論する枠組みとして有効に機能したと考えられる。

4.4 問題解決における空間的思考の特徴

以上の特徴から、空間概念、表現ツールの有効利用、空間的推論という視点で、空間的問題解答のプロセスをまとめてみよう。

まず、空間的思考の空間概念は、かなり基礎的なものであっても、場合によっては適切に適用できていないことが指摘できる。力についての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きた（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の「標高」と「傾斜」は、比較的単純な概念であるが、両者の間に一種の誤概念的混乱が学生協力者に見られた。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、指示対象から判断すると、周囲に対して特徴的に高いという相対的な高さの違いの意味であり、その意味では傾斜に近い概念である。

基本的な空間概念やそれに操作を加えた比較的低次の派生的概念は、形式的操作期の成人であれば十分取り扱うことが可能なはずだが、具体的場面においては必ずしもそうではない。抽象的で直接見ることができない「力」に誤概念が生じるように、私たちが日常的に意識できるのは高さの差であることが、「高さ」と「相対的な高さ＝傾斜」の混乱を生んだ一因かもしれ

ない。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。

空間表現は出題者にとっては問題提示のツールであるが、これが問題解決に必要な空間推論を助けるツールになりえることも示された。ただし、表現がツールとして利用されるためには、複数の表現を結びつけるためのイメージ化が重要な役割を果たすと考えられる。食変光星の問題で不正解だったChiは何度も「わからん」「イメージがつかない」と発言し、選択肢や出題図に関連づけるイメージ化ができていない様子であった。空間表現による理解は理科の天体などで重要な役割を果たすと考えられるが、理解のための空間表現の利用は生得的あるいは発達の無条件に可能という訳ではなかった。こうした点への配慮は教科横断的に必要であり、そのようなスキルを高めるためにも、空間的思考という視点は重要だと思われる。

空間的推論は、数学あるいは論理的な推論という点でどのような違いがあるのだろうか。数学や理科、あるいはパズルのような論理・数学的問題解決は、解答の過程で取ることができる状態と操作子が明確かつ厳密に定義されているので、問題解決は問題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、既習の操作子（計算手続き）を適用して、解に至る操作子の連続を発見するだけである。一方、空間的問題解決では、情報はアナログ的で、操作子や状態が明確に定義されているわけではない。また操作子に相当する表象の変換は多くの場合自明のものではなく、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、それに対応すべき選択肢あるいは問題文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。

自然の中でのナビゲーションにおける現在地把握課題でも、複数の候補がある場合に、本研究と似たような視覚化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, 1988; Pick et al.,1995）。このことから、視覚化の再設定は、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。

5. 結論と空間的思考の課題

空間表現を含む入試センターの問題を発話思考法によって解答させることで、教科教育の問題の中でどのように空間的思考が実践されているかを検討した。課題の性質によって細部は異なるものの、ノイズのある情報の中からの適切な情報への注目やパタンの抽出、視覚化やアナログ情報の概念化といった、これまで指摘されてきた要素が見られた他、課題環境に対応した適切な視覚化レベルの設定が見られた。これは選択式の問題であったことにもよっていると思われるが、発見的な空間的思考の場合にも、捨象すべき情報のレベル設定として行われている可能性はある。

空間的思考の中核にある新しい規則性の発見といった発見的なプロセスは十分に見ることができなかった。これは、与えられた問題が選択式であったことによる。なぜそのような人口分布になるのだろうかといった発見的思考に近い思考過程も働いていた可能性はあるが、正しい選択肢を選ぶという問題形式のため、それらは十分に発話されなかったのかもしれない。

解答過程を見る限り、視覚化や概念化は比較的粗いレベルでは獲得されているものの、動的なイメージの視覚化、ノイズの中からの適切な情報への注目、課題環境に基づく適切な視覚化レベルの設定などの点では、空間的思考を支える認知要素の獲得が十分になされていないことも示唆された。また、空間表現を理解のツールとして利用する点でも課題が見られた。こうした認知要素は、日常生活の中では仕事や発見的な課題解決に重要な役割を果たすが、教科教育の中でそのような認知的スキルを意識したり、トレーニングしたりすることが十分でないことが示唆された。

引用文献

- Allen, G. L, Kirasic, K. C., Dobson, S. H., Long, R. G., and Beck, S. (1996) . Predicting environmental learning from spatial abilities: An indirect route. *Intelligence*, 22, 327-355.
- Anderson, J. R. (2010) *Cognitive psychology and its implications*, 7th ed. Worth Publishers.
- ガードナー、H. (黒上晴夫) 訳 (2003). 多次元的知能の世界－MI論の活用と可能性
- Golledge, R.G., Marsh, M. and Bettersby, S. (2008). A conceptual framework for facilitating geospatial thinking. *Annals of the Association of American Geographers* 98: 285-308.
- 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.
- ジョンソン、S. (2007). 感染地図－歴史を変えた未知の病原体 河出書房新社.
- Kaiser, M. K., McClosky, M. and Proffitt, D. R. (1986). Development of intuitive theory of motion. *Developmental Psychology*, 22, 67-71.
- 岸学・中村光伴・相澤はるか (2011). 非連続型テキストを含む説明文の読解を促進するには？眼球運動による検討 東京学芸大学紀要 総合教育科学系 I 62,177-188.
- 川喜多二郎 (1967). 発想法 中央公論社
- 文部省 (1999). 『高等学校学習指導要領解説 地理歴史編』. 実教出版.
- Murakoshi, S. (1988). Information processing in photo-orienteeing. *Scientific Journal of Orienteering*, 4, 14-33.
- 村越真 (1992). 空間表象 橋口英俊他 (編) 児童心理学の進歩1992年版、81-105.
- 村越真 (2003). 方向オンチのなぞが分かる本 集英社.
- 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.
- Murakoshi, S. and Kawai, M. (2000). Use of knowledge and heuristics for wayfinding in an artificial environment. *Environment and Behavior*, 32, 756-774.
- 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, 440-49.
- 中川 昭 (1985). ボールゲームにおける状況判断研究の現状と将来の展望. *体育学研究*, 30, 105-115.
- National Research Council (2006). *Lerining to think spatially*. The National Academies Press. Washigton D.C.
- Pick, H. L, Heinrichs, M. R., Montello, D. R., Smith, K., Sullivan, C. N., and 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.
- 澁澤文隆 (2000). 新地理教育はなぜ学び方の充実を図ったのかー地理的な知識と学び方の両立をめざす. 地理, 45 (1), 20-25.
- 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.
- 鈴木隆介 (1997). 『建設技術者のための地形図読図入門第1巻読図の基礎』. 古今書院.
- 竹内謙彰 (1990). 「方向感覚質問紙」作成の試み (1) 愛知教育大学研究報告 第39号 (教育科学), 127-140.
- 竹内謙彰 (1992). 方向感覚と方位評定、人格特性及び知的能力との関連 教育心理学研究, 40, 47-53.
- Winchester, S. (2001). The map that changed the world. Penguin

