

地理情報科学と空間的思考

若林芳樹・石川 徹

Geographic Information Science and Spatial Thinking

Yoshiki WAKABAYASHI and Toru ISHIKAWA

Abstract: The aim of this paper is to examine the relationships between geographic information science and spatial thinking, from the viewpoint of human spatial cognition. After discussing the basic elements of spatial thinking, we review previous studies of scientific applications of spatial thinking and the roles of GIS in the education of spatial thinking. Then we investigate the relationships between the Body of Knowledge (BoK) of GIS and the elements of spatial thinking.

Keywords: 地理情報科学 (geographic information science), 空間的思考 (spatial thinking), 空間的概念 (spatial concepts), 表現 (representations), 推論 (reasoning)

1. はじめに

学校教育での空間的思考の指導における GIS の有効性を説いた、アメリカ学術会議レポート『空間的思考を学ぶ』(NRC 2006)が出版されて以来、英語圏では GIS と空間的思考との関係に対する関心が高まっている。本稿では、そうした動きを踏まえて、空間的思考の体系と日本の GIS カリキュラムにおけるその位置づけについて、従前の空間認知研究の成果などをふまえて検討することを目的とする。

2. 空間的思考の構成要素

若林芳樹 〒192-0397 八王子市南大沢 1-1
首都大学東京都市環境科学研究科地理環境科学域
Phone: 042-677-1111 (内線 3864)
E-mail: wakaba@comp.metro-u.ac.jp

空間的思考について NRC (2006:25)は、①空間的概念(concepts of space), ②表現ツール(tools of representation), ③推論過程(processes of reasoning)の3要素から成るものとして捉えている。

①空間的概念：空間的思考の基礎となるのは、距離、座標系、次元といった幾何学的側面から、空間を抽象化して理解することである。Golledge et al. (2007, 2002, 1995) は、単純な空間的概念(空間的プリミティブ)と複雑な空間的概念(派生概念)に分けて整理している。その基礎となる空間的プリミティブは、同一性、位置、強度、時間によって構成される。これらから派生する概念として、配列、分布、線、形状、境界、距離、参照枠、連続がある。さらに二次的派生概念としては、隣接関係、角度、分類、座標、格子パターン、多角形があり、三次派生概念にはバッファ、連結性、

傾斜，断面，表現，スケール，四次派生語には地域の結びつき，内挿，地図投影，主観的空間，仮想現実などが含まれる．なお，Smith et al. (2009) は，これとはやや異なる内容で，空間分析に必要な空間的概念を整理している．

②表現ツールの利用(空間的表現)：これは地図，図表，グラフなどを利用して情報を空間的に組織化し，理解し，伝達することである．そこには，地理空間のような空間的対象だけでなく非空間的な対象を空間的に視覚化することや，表現されたものからの的確に情報を読み取る能力も重要になる．
③推論過程(空間的推論)：既存の情報から未知の事柄を空間的に推し量る高次の認知過程である．これは，感覚や記憶からの想起によって情報を集めて推論に必要な知識を獲得する入力レベル，獲得された情報を分析し，分類し，説明し，比較する処理レベル，評価，一般化，創造の過程を通して，新しい知識を生み出す出力レベルに分けられる(Jo and Bednarz, 2009)．

このうち，①については心理学をはじめとする空間認知研究が参考になり，②についても地図学やデザイン分野での知見を応用できる可能性がある．しかし，③については，空間的思考に特化したものとしては過去の研究の蓄積が乏しく，①や②の要素を問題の発見・解決に結びつけていく応用的な側面でもあるため，具体的な問題解決場面に即して検討すべきであろう．

3. 空間的思考の応用

空間的思考は，日常生活のみならず，仕事場での様々な場面における問題解決に利用されることはいままでもない．19世紀のロンドンで発生したコレラの感染源を地図によって突き止めた John Snow の仕事は，空間的思考を現実の問題解決に応用した典型例として，しばしば取り上げられる．

学術研究においても，とくに理工系の諸分野では空間的思考の果たす役割が大きい．NRC(2006) は，空間的思考が科学研究に有効利用された事例として，2次元のX線画像からDNAの二重らせん構造を発見したワトソンとクリックの研究などを挙げている．

地球科学研究を事例として空間的思考の役割を検討した Kastens and Ishikawa (2006)は，

- ①2次元または3次元の形状，内部構造，物体の向きや位置，特性，作用について観察，記述，記録，分類，認識，想起，伝達すること，
 - ②形状，構造，向きあるいは位置を，回転，変換，変形などによって心的に操作すること，
 - ③物体，特性，作用が特定の形状，構造，向き，位置を持つようになった理由を解釈すること，
 - ④観察される形状，内部構造，向き，位置からその意味するところを予測すること，
 - ⑤非空間的次元での作用や特性について考えるために空間的思考の方略を用いること，
- が研究過程に含まれるという．

一方，社会科学の分野でも「空間論的転回(spatial turn)」とも呼ばれるように，空間的思考の重要性が増してきており，アメリカの UCSB (カリフォルニア大学サンタバーバラ校) には，1999年から社会科学分野での空間的思考のための分析ツールの共有を促進するプロジェクトとして CSISS (Center for Spatially Integrated Social Science)が設立された(Goodchild and Janelle 2004)．その Web サイト(<http://www.csiss.org/>)には，社会科学の諸分野で空間的思考が貢献した古典的事例が”CSISS Classics”として紹介されている．

4. 空間的思考の教育と GIS

4.1 学校教育における空間的思考の指導

江戸時代の寺子屋教育でもみられたように，「読

み書き算盤」は初等教育で習得すべき基礎的技能とみなされてきたが、英語圏でもこれに相当する 3R (Reading、Writing、Arithmetic) の学習が学校教育で重視されている。Balchin (1976)は、これに続く 4 つめの R として、地図・写真・概念図などの空間的表現を理解し活用する能力を指す「グラフィカシー (graphicacy)」という概念を提示した (志村 2006)。Goodchild(2006)もまた、ICT の発達につれて多種多様な空間情報が氾濫する現代では、4 つめの R として空間的リテラシーの重要性が増大していると指摘している。グラフィカシーにせよ空間的リテラシーにせよ、いずれも空間的思考と密接に関連する技能である。

空間的思考の要素と学校教育との関係を日本の学習指導要領を手がかりに検討すると、それらは初等教育の算数、理科、社会（地理）などの複数の教科にまたがって習得されることがわかる。それらの教科間の関係をみると、基礎的な空間的概念については主として算数の空間図形の単元で習得され (狭間 2002)、それを応用した空間的表現や空間的推論に関わる内容が理科や地理に多く含まれていることがわかる。このため、空間的思考の育成には、理数系の教科教育と地理教育との連携が求められるであろう。

これらの教科の中で地理は、空間的思考を現実世界に即して応用するのに重要な役割を担っているが、Jo and Bednarz (2009)は、高校の地理教科書内の設問に含まれる内容を空間的思考の 3 要素に分類して集計した。その結果、高校の教科書の設問では、高次の空間的概念、空間的表現、複雑な推論を必要としない内容が多いため、3 要素を統合するような高次の空間的思考を含む問いを教師の側で考える必要がある。これをサポートするものとして、AAG (アメリカ地理学会) は、世界地理を題材とした空間的思考のためのマルチメディ

ア教材” Teaching Geography” (Gersmehl 2008)を開発し、CD-ROM で提供している。

4.2 空間的思考の指導における GIS の役割

NRC(2006)は、空間的思考の教育に対する GIS の有効性を説くことを一つのねらいとしていた。じっさい、大学生を対象に空間的スキルを GIS 履修の前後で測定すると、履修後の方が高まったという報告 (Lee and Bednarz 2009)もある。

しかし、「ミニマル GIS」を提案した Golledge ら(Marsh et al. 2007; Golledge et al. 2008)は、様々なレベルの空間的概念を、初等中等教育の学年進行に合わせて段階的に習得させるために、単にソフトの操作を理解するのではなく、GIS を通して空間的思考や推論の仕方を学ぶことが重要だという。そのため、低学年では高機能の GIS ソフトを使うよりも、ローテクの紙と鉛筆による作業の方が有効になる。

ただし、空間的思考は学校教育だけで習得されるわけではない。それは、学校外での生活経験においても、空間的思考を必要とする折り紙やコンピュータゲームなどを通して身につくところもあり、家庭環境による影響も少なくないという報告がある(Newcombe 2010)。

いずれにせよ、GIS を空間的思考に有効に利用するには、GIS を用いた作業過程を詳しく検討して、そこでどのような空間的思考が行われているかを調べてみることが重要になる。

4.3 GIS 教育における空間的思考

UCGIS (地理情報科学大学連合) が 2006 年に発表した「地理情報科学の知識体系」(以下、BoK と略称) は、高等教育や専門的技術者が習得すべき GIS の知識体系を示したものであるが、そこでは空間的思考との関係は明示されていない。

そこで、改めて空間的思考の 3 要素と日本版 BoK(2010 年 6 月版 : <http://curricula.csis.u-tokyo.ac.jp>

/bok201006.pdf)との対応関係を検討すると、表 1 のように整理できると考えられる。つまり、地理情報科学の知識体系のほぼ全体が、何らかの形で空間的思考に関わっているといえる。

表 1 BoK と空間的思考の要素との関係

BoKの項目	空間的 概念	空間的 表現	空間的 推論
1) 実世界のモデル化と形式化	○		
2) 空間データの取得・作成	○		
3) 空間データの変換・管理	○		
4) 空間解析			○
5) 空間データの視覚的伝達		○	
6) 地理情報科学と社会			

そのため、英語圏では GIS 教育に関連した空間的思考の内容に関わる検討が多方面で進められている。たとえば、Spatial@ucs (<http://www.spatial.ucsb.edu/index.php>)は、空間的思考の研究・教育を支援するために UCSB に 2007 年から設置された Web サイトで、これに関連する TeachSpatial.org(<http://www.teachspatial.org/>)では、空間的思考のカリキュラムに関する種々の資料が提供されている。一方、イギリスの SPLINT(<http://www.le.ac.uk/gg/splint/index.html>)では、3 つの大学が連携した高等教育での空間的リテラシー向上プロジェクトが進められてきた。これとは別に、アメリカの心理学者を中心にした空間的思考に関する大学間連携プロジェクトとして、SILK(<http://www.silccenter.org/index2.html>)もある。

5. おわりに

以上のように、GIS と空間的思考は密接に結びついているといえるが、そこには 2 つの側面から検討すべき課題が残されている。一つは、空間的思考の教育にとって GIS がどのような役割を果たすかである。もう一つは、BoK を構成する個々の

要素に空間的思考がどのように関わっているかを詳しく検討することである。これらの課題について、認知科学などの知見をふまえて、理論的・実証的に検討することが求められるであろう。

参考文献

- 志村 喬 2006. 英国地理教育におけるグラフィカシー概念の書誌学的検討. 地図 44(2): 1-12.
- 狭間節子編著 2002. 『こうすれば空間図形の学習は変わる—小・中・高—算数・数学的活動を生かした空間思考の育成』. 明治図書.
- Balchin, W.G.V. 1972. Graphicacy. Geography 47: 185-195.
- Golledge, R.G. 2002. The nature of geographic knowledge. Annals of the Association of American Geographers 92: 1-14.
- Golledge, R.G., Marsh, M. and Battersby, S. 2008. A conceptual framework for facilitating geospatial thinking. Annals of the Association of American Geographers 98: 285-308.
- Goodchild, M.F. and Janelle, D.G. eds. 2004. Spatially Integrated Social Science. New York: Oxford UP.
- Jo, I. and Bednarz, S.W. 2009. Evaluating geography textbook questions from a spatial perspective: using concepts of space, tools of representation, and cognitive processes to evaluate spatiality. Journal of Geography 108: 4-13.
- Kastens, K.A. and Ishikawa, T. 2006. Spatial thinking in the geosciences and cognitive sciences: a cross-disciplinary look at the intersections of the two fields. Geological Society of America, Special Paper 413: 53-76.
- Lee, J. and Bednarz, R. 2009. Effects of GIS learning on spatial thinking. Journal of Geography in Higher Education 33: 183-198.
- Marsh, M., Golledge, R.G., and Battersby, S.E. 2007. Geospatial concept understanding and recognition in G6-colledge students: a preliminary argument for minimal GIS. Annals of the Association of American Geographers 97: 696-712.
- NRC (National Research Council) 2006. Learning to think spatially. The National Academies Press: Washington D.C..
- Newcombe, N.S. 2010. Increasing math and science learning by improving spatial thinking. American Educator Summer 2010: 29-43.
- Smith, M.J., Goodchild, M.F., and Longley, P.A. 2009. Geospatial Analysis 3rd ed. Winchelsea Press.