

## 自然情報の可視化機能を有する e ラーニングシステムの構築

蓮沼 賢<sup>1)</sup> 森棟隆一<sup>1)</sup> 小野田 聖<sup>2)</sup> 川口修治<sup>2)</sup> 三谷 淳<sup>2)</sup> 山崎謙介<sup>1)2)</sup>

1) 東京学芸大学大学院教育学研究科

2) 東京学芸大学教育学部

[概要] ここ数年で、人間が空間的な思考に基づき意思決定をする道具として、地理情報システム (GIS) が、社会のあらゆる分野で利用されるようになってきた。本稿では、情報系、非情報系の学生を問わずに、GIS の構成を学び、デジタル標高モデル (DEM) の利用を通して、情報科学の基礎的な内容である画像処理などを学ぶことができることを提示する。また、DEM 以外の地球科学の諸データも取り込み、学習者が直接対話的に操作することができる科学教育のための WebGIS システムの構築を試みた。今回作成した Web を利用した学習支援システムは、Interactive Learning Environment (ILE) の一つと位置づけられる。具体的な作業例を示しながら、構築したシステムの利用例などを報告する。

[キーワード] 地理情報システム (GIS), 画像処理, デジタル標高モデル (DEM), 情報教育, 科学教育, ILE

## An e-learning system for science and IT education based on the integrated spatial information system

Satoshi HASUNUMA<sup>1)</sup> Ryuichi MORIMUNE<sup>1)</sup> Masaru ONODA<sup>2)</sup>  
Syuuji KAWAGUCHI<sup>2)</sup> Jun MITANI<sup>2)</sup> Kensuke YAMAZAKI<sup>1)2)</sup>

1) Graduate School of Education, Tokyo Gakugei University

2) Dept. of Education, Tokyo Gakugei University

[Abstract] We propose an e-learning system for science and IT education based on the integrated spatial information system, GIS-GRASS. The GIS (Geographic Information System), one of the most powerful software for spatial analysis and spatial thinking, is also eligible for IT education. The present e-learning system based on WebGIS deals with geoscientific data such as earthquake occurrence in conjunction with other geological data. The system is regarded as an example of the Interactive Learning Environment (ILE).

[Keywords] Geographic Information System (GIS), Image Processing, Digital Elevation Model (DEM), IT education, Science education, ILE

## 1 はじめに

社会がより複雑化する今日，人間が空間的な思考に基づき，意思決定をする場面が多くなってきている．例えば，我々の日常生活と関わりのある地理情報システム (Geographic Information System, GIS) の一つとして，カーナビゲーションシステムが上げられる．これにより提供される地図は，正確なものではないが，空間において必要な情報を強調し，移動する際の補助的な役割を果たす．通常のカーナビゲーションシステムでは，それを用いて何かを解析するということはできないが，GIS を実社会の利用に役立てた事例である．

本稿では，GIS の構成を学び，そのシステムの利用を通して，情報科学の基礎的な内容である画像処理などを学ぶことができる一例を提示する．また，それらのシステムの拡張として，具体的な地球科学のデータを GIS に取り込み，学習者が直接対話的に作業を行えるように WebGIS の構築を試みたことについても報告する．現実事象である空間情報にふれ GIS の特性を学ぶこと，またそれを用いて学習支援システムの実装を行うことは，情報系，非情報系を問わず情報科学を学ぶ良い機会であると考えられる．

## 2 地理情報システム (GIS)

### 2.1 GIS の歴史

GIS は，空間的にも時間的にも広がりを持つ情報を活用するためのシステムである．つまり，それは現実世界の地理的な事象を統合して扱えるデジタルコンテンツと言える．広義には，空間情報科学という学問を意味するが，狭義には様々な空間情報を統合して考えたりすることができるコンピュータシステムそのものを意味する．

現代のようにコンピュータ上に地理情報を記録するというシステム実装を試みは，1965

年にハーバード大学コンピュータグラフィックスラボにおいて Fisher らによって開発された SYMAP が始まりとされている [1]．その後，1980 年代になってスーパーミニコンの登場，1990 年代に入るとワークステーション上でのシステムが普及した．1995 年以降パソコンベースで実用可能な GIS が相次いで登場した．日本において，GIS が社会的に重要であるという認識が高まり，利用される契機となったのは，阪神・淡路大震災 (1995 年 1 月) である．被災の数日後，道路を塞ぐ瓦礫の分布状況，つまり交通不能箇所の現状，倒壊した家屋の撤去状況を調査し，ボランティア活動のナビゲーション用として地図とインターネットを使った救援活動が行われた [2]．行政においても，同年の 9 月に「地理情報システム関係省庁連絡会議」が設立され，基盤整備の検討が始められた．国土地理院 [3]，東京大学空間情報科学研究センター [4] のクリアリングハウス (clearing house) は，これらの政府の方針に基づいて構築されたもので，具体的に，キーワードを入力し，検索が行えるオンライン地理情報検索サイトである．

### 2.2 GIS の構成について

GIS は，1) データの入力，2) データの保存，管理，3) データの加工，演算，4) データの可視化 (出力) という機能を有しているソフトウェアである (図 1)．GIS を利用するためには，ソフトウェアだけがあっても全く機能しない．例えば，リモートセンシングによって得られた画像やデジタル化された空間情報を手にいれ，収集したデータについては，効率の良い形で管理しなくてはならない．最近では GIS のデータベースとして RDBMS (Relational DataBase Management System) を利用し，SQL 言語にて管理が可能なものもある．収集するデータは，現実世界の实体を簡単な線や形状などの図形的特性である「幾何属性」，計量的な性質や特徴など

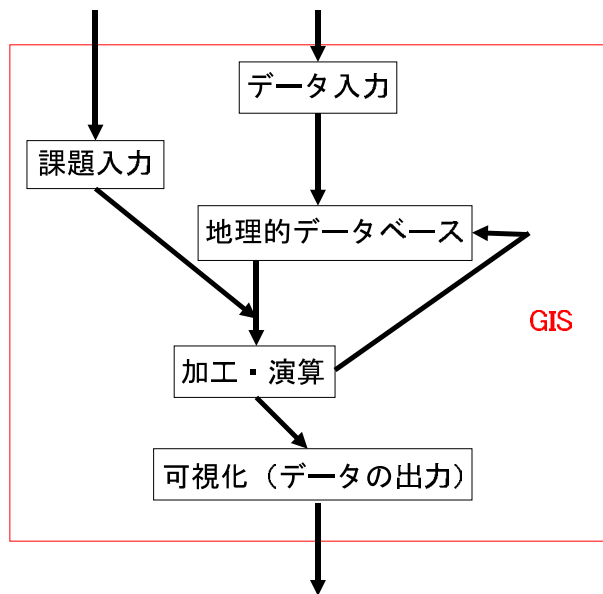


図 1: GIS の構成

を表現する記述的名特性である「非幾何学属性」の2つの属性を持つ。GISでは、この2つの属性を結びつけて解析を行う。最終的な演算の結果を、人間が理解できるように、CRTや紙出力の画像として可視化する。

### 2.3 GISの基礎学問領域と応用学問領域について

GISとは、広義の意味で学問分野を示すという説明をした。それは統計学と似ており、多くの学問領域と横断的に関係する学問と言える[5]。基礎学問領域として、地理データを現実社会から習得する測量学、習得されたデータを古典的な方法で記述する地図学、計量的な把握を行うための統計学がある。また、コンピュータで幾何データを扱う事が難しいことから、それを克服するために成長した計算幾何学、GISのソフトウェアを開発するためのコンピュータ科学が挙げられる。さらに、実データとしての空間データを管理、分析する応用学問領域としては、地球科学、経済学、農学、医学、考古学、建築学、土木学、都市工学などがある。他にもGISを扱う学問領域

の浸透は、目ざましいものである。

### 2.4 GRASSについて

GRASS (Geographic Resources Analysis Support System)[6]はラスタ型データに対応するGISである。基本的なシステムとして画像処理、グラフィック製作といった機能を備えている。米国陸軍技術部隊 (the US Army Corps of Engineers) の建設工学研究所 (Construction Engineering Research Laboratory)(USA/CERL)で開発され、その他の多くのユーザによって改良され、世界各国の政府機関や大学、企業で広く使われている。様々なUNIXマシンで動作するように大部分がANSI準拠のC言語で書かれ、Linuxはその中でも中心となる開発環境である。GRASSのユーザ・インタフェースは、通常のUNIXコマンドラインであり、対話的に処理を行う。テキスト・ベースのみでも動作は可能であるが、解析結果を表示するにはX Window Systemが必要である。はじめてGISを利用する者にとって、GRASSはシンプルで理想的なプラットフォームである。ユーザはドキュメント化されているGRASSライブラリ、さらにGRASSのプログラマーズ・マニュアルを調べることにより、必要に応じて、ソース・コードを書き直すことが可能である。1999年10月25日にGPL(Gnu Public License)なソフトウェアとなり、GRASSの管理は、ペイラー大学に本部を置く the GRASS Development Team(ペイラー大学、イリノイ大学、ハノーファー大学)が行っており、インターネット経由でGRASSのtar形式のパッケージをダウンロードすることができる。

## 3 画像処理とWebGISの構築

### 3.1 幾何データ構造について

空間情報としてGIS内に取り込んでおくデータ構造は、二種類ある(図2)。一つは、

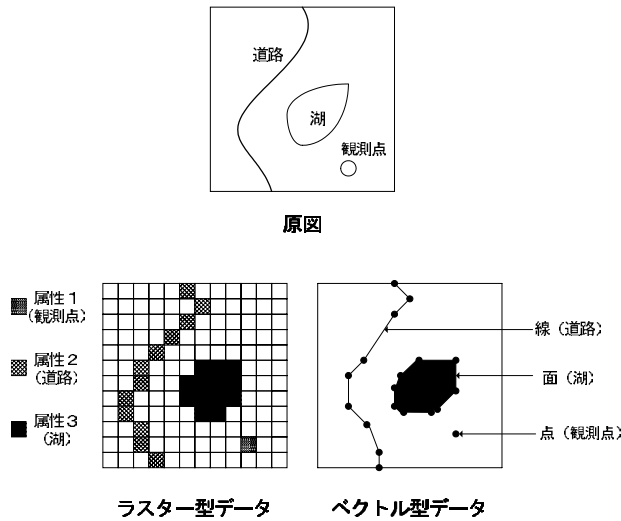


図 2: それぞれのデータ構造

空間を任意のグリッドで区切ったラスタ型データである。リモートセンシングによって得られた衛星画像やデジタル標高モデル(Digital Terrain Model,DEM)などが例として上げられる。他の一つは、行政界、道路、活断層などの長さや方向を持つベクトル型データである。計算幾何学は、GISに実装する上で問題となった幾何オブジェクトの定量的評価、位相的評価の問題を解決する学問として発展している[7]。ラスタ型データ、ベクトル型データは、変換時に誤差が生じるといった問題はあるが、現在のGISでは、ほとんどが変換可能である。

### 3.2 デジタル標高モデル (DEM) について

空間的に連続変化する地形の起伏をデジタル形式で表したものは、デジタル標高モデル(Digital Elevation Model,DEM)として知られている。本研究で用いた数値地図50mDEMは、1994年4月に、50mメッシュ標高データの全国整備を完了し、「数値地図50mメッシュ(標高)」としてCD-ROMにて刊行されたものである。これは1/25000地形図を縦横に200等分したメッシュ(地上約50m×50m)

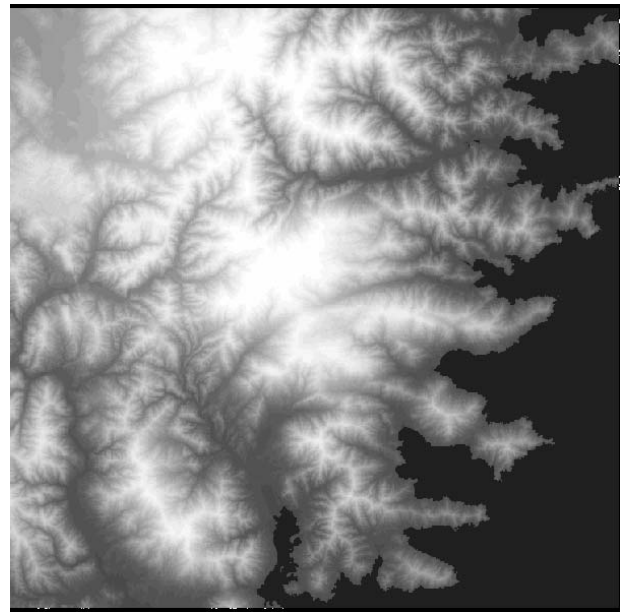


図 3: DEMの例(原図)

の中心の標高を、地形図の等高線を数値化したデータにより作成されている。数値地図50mDEMの精度は、理論的には7m程度であると推定されているが、その実証については下山ほか(1995)[8]を参照されたい。なお図3は、複雑な海岸線(リアス式海岸)が見られる宮城県牡鹿半島付近を数値地図50mDEMにより、グレースケールで描画したものである。

### 3.3 画像処理

画像処理を行うためには、図4のような中心のセルと4近傍、または8近傍のセルの値をもって計算する(以下に示す例は、すべて8近傍で画像処理を行ったものである)。ラスタ型データの各セルに対して、地図上を逐次的に図4のような3×3のセルをカーネル(ウィンドウ)を移動させて、計算することにより、以下のような操作が可能となる。

**平滑化** 平滑化とは、地表面の小さな凹凸をなくして滑らかにすることである。つまり、一般的には、データに混在した高周波な雑音を低減させる手法の一つである。単純平滑化は、変換前のデジタルデータを  $f(x, y)$ 、変

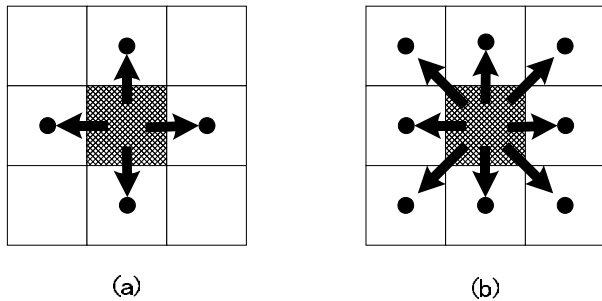


図 4: 4近傍と8近傍について

換後のデジタルデータを  $g(x, y)$  とすると、以下の式で表現できる。

$$g(x, y) = \frac{1}{9} \{f(x-1, y-1) + f(x-1, y) + f(x-1, y+1) + f(x, y-1) + f(x, y) + f(x, y+1) + f(x+1, y-1) + f(x+1, y) + f(x+1, y+1)\}$$

エッジ処理 濃度 (DEM の場合は高度) が急激に変化して1つの領域が終わり、他の領域が始まっているのを示す場所をエッジ (edge) という。これは、不連続性を検出する一般的な方法として、2次の偏微分であるラプラシアン (Laplacian) を計算する。画像を  $f$  とすると、以下の式で表現できる。

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

デジタルデータ  $f(x, y)$  に当てはめるために、離散近似をすると

$$\begin{aligned} \nabla^2 f(x, y) &= f(x+1, y) - 2f(x, y) + f(x-1, y) \\ &+ f(x, y+1) - 2f(x, y) + f(x, y-1) \\ &= f(x+1, y) + f(x-1, y) \\ &+ f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x, y) \end{aligned}$$

となる。図5は、図4のデジタルラプラシアンを求めたものである。

先鋭化 先鋭化で最も簡便で良く利用されるのは、原画像からそのラプラシアンを差し引く方法である。

$$g = f - c\nabla^2 f \quad (c \text{ は定数})$$

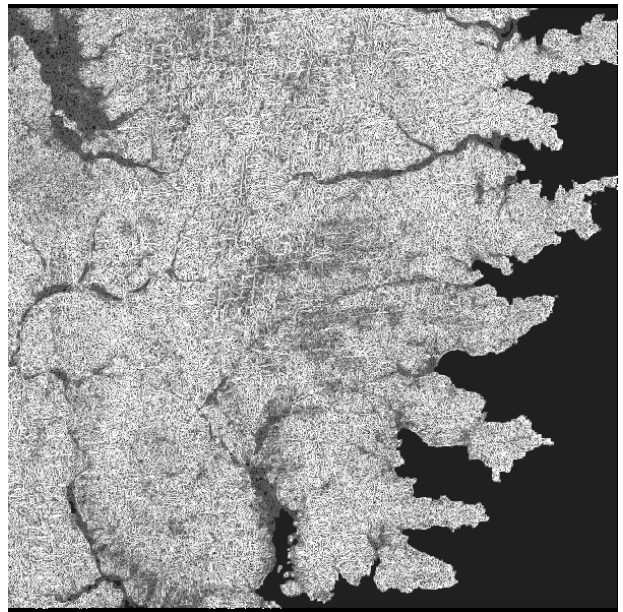


図 5: ラプラシアン図

変換前のデジタルデータを  $f(x, y)$ 、変換後のデジタルデータを  $g(x, y)$  とすると、以下の式で表現できる。

$$\begin{aligned} g(x, y) &= f(x, y) - c \\ &\{f(x+1, y) + f(x-1, y) \\ &+ f(x, y+1) + f(x, y-1) \\ &- 4f(x, y)\} \end{aligned}$$

となる。図6は、図4の画像からデジタルラプラシアンを差し引き、先鋭化したものである。海岸線や谷、尾根がエッジとして強調されている。

補間 GIS ではいくつかの補間法の中から一つを選択し、等値線 (コンターライン) を作成することができる。これは、濃度差 (高度差) を視覚的に分析するときに役に立つ概念図である。図7は、3次スプライン補間法 (cubic spline interpolation) を用いて 200m 間隔毎に等値線を引かせたものである。ラスタ型データからベクトル型データに変換する作業の一つであるので、補間法の種類や等値線間隔を変えることで、図化される線の形状も異なるということを学習することができる。

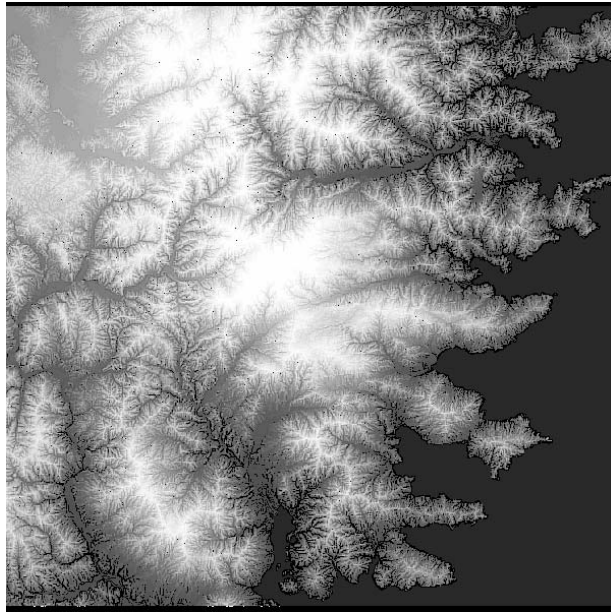


図 6: 先鋭化図



図 7: 等高線図

#### 4 WebGIS の構築

現在，ネットワークを用いた各種の情報提供サービスが一般的になってきている．インターネットを使った地理情報配信 (Distributed Geographic Information, DGI) は，地理情報を，地図，画像，データ，解析結果，報告文書というような多様な形態で，広範囲に配信する技術である [9]．地理情報配信システムの開発に使用される技術は，サーバ (空間データと GIS を有し配信することが可能なコンピュータ)，クライアント (空間データと GIS を利用することができるコンピュータ)，そしてネットワーク交信 (サーバとクライアント間の情報の流れを制御するシステムで，本システムの場合は WWW) で構成される．この基本的なサーバ/クライアント・システムという構成が，インターネット上で地理情報を配信の設計概念である．本システムを構築する上で，GIS として GRASS を選択したのは，1) GRASS は，PC-UNIX で動作する，2) UNIX のコマンドとしてシェルスクリプトや Perl で作業がしやすい，3) システム全体を

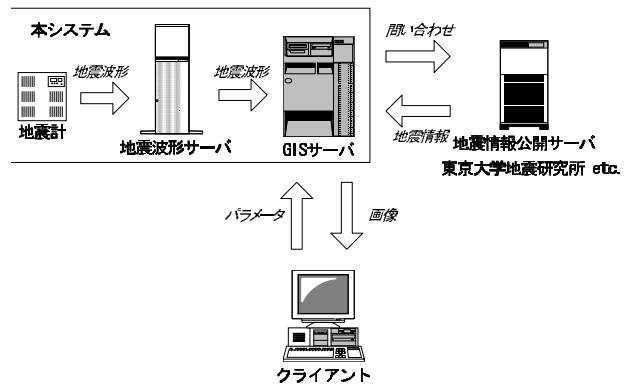


図 8: サーバ/クライアント・システム

安価に作成することができる，4) C 言語で開発されており標準関数を参照しやすい，という点である．本システムは，クライアントが児童・生徒であった場合も利用しやすいように，標準の Web ブラウザのみで利用可能な形とした．表示されている地図がクリックマッピングになっており，ある座標をクリックすることで，経度，緯度といった変数をサーバに渡す．次に，通常の HTML に埋め込まれたフォームに検索する地震情報の期間，地域，規模，深さといった変数，及び複合的な画像

空間データ	提供機関
数値地図 50m メッシュ(標高) 日本 100 万分の 1 日本地質図第 3 版 CD-ROM 版 (G-1)	国土地理院
日本重力 CD-ROM 版 (P-2)	地質調査所
日本の新生代火山岩の分布と産状 Ver.1.0 CD-ROM 版	地質調査所
活断層 (G03-07L)	国土交通省
海岸線, 行政界 (N03-11A)	国土交通省

表 1: GIS サーバ内に用意した空間データ

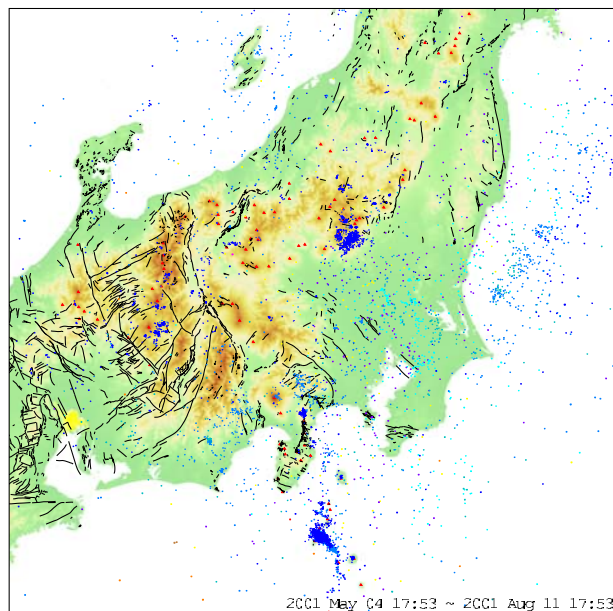


図 9: 作成例

を作成するために，地形，地質，重力，活断層，火山の位置といった基盤データを選択する．WWW を介し，CGI(Common Gateway Interface) によって，これらの変数はサーバに渡される．サーバは，クライアントが地図を作成する上で，付加すべき必要な地震情報をリアルタイムに東京大学地震研究所地震地殻変動観測センター等の地震情報公開のサーバ (HARVEST)[10] より取得する．サーバ内で画像情報を作成した後に，クライアントに作成した画像を PNG(Portable NetworkGraphics) として配信する (図 8)．作成された図も Web ブラウザ上では，クリックブルマップになっ

ていて，画像内の活断層のクリックすることで，名称などを表示することが可能である (図 9)．また，地震などの観測点，例えば東京都小金井市付近を検索対象とした場合，観測点のオブジェクトをクリックすることで，地震波形についても，画像や数値データとしてダウンロードすることができ，自らデータを解析することが可能である．表 1 は，基盤データとして，サーバ内に用意した空間データの一覧である．

本システムのように GRASS を利用して，オンラインで地理情報を配信するサイトとしては，カリフォルニア大学バークレー校の REGIS プログラムによって構築された GRASSLinks が有名である [11]．REGIS は，カリフォルニア州サンフランシスコ湾とサクラメント・デルタ地帯の都市部や自然環境に関する多様なデータを保持している．この GRASSLinks は，これらの地域の地域環境を研究したい人なら誰もが，Web 経由で利用することができるオンライン GIS である．

## 5 まとめ

本稿では，GIS を利用して基本的な画像処理の学習を行えることを示した．この他にもブール論理，ラン・レンジ符号化によるデータの圧縮，ベクトル型データのポイントを用いたリンク構造など，GIS には情報教育を行うことができる題材がいくつもある．また，空間情報をオブジェクトとして地図上に取り込むことで，科学的な興味関心を促すサーバ/クライアント・モデルとして eラーニングシステムを構築した．地学的な諸現象のデータをより身近な存在として利用し，活用することが重要である．このようなシステムは，教師にとっての補助教材になるだけでなく，生徒が主体的に学習に取り組むことも可能にする．例えば，自分の住む地域の地震活動，地質の種類，活断層の位置を知り，検索条件を変えながら

繰り返し利用することで，地学現象の空間的な認知，発見を行うことができる．このような知的学習支援システムは，いわゆる直接操作型” Interactive Learning Environment(ILE)”パラダイムと位置づけられる [12]．また，社会の様々な分野で利用されている GIS を科学教育の一環として利用することで，問題解決のツールとしてのコンピュータの重要性を再確認することもできると考える．なお，本システムは，以下の URL から利用することが可能である．

<http://sanga.u-gakugei.ac.jp/~grass/>

#### 謝辞

本研究においては，国土交通省国土数値情報を利用いたしました．謹んで感謝の意を表します．

#### 参考文献

- [1] Sheehan,D.(1979).“A Discussion of the SYMAP Program,” In Harvard Library of Computer Graphics, Mapping Software and Cartographic Data Bases. Cambridge, MA: Harvard University.
- [2] 碓井照子 (1997),“阪神・淡路大震災の学術ボランティア活動と GIS 教育から見た地理学における情報化,” 地理科学,Vol.52,No.3,pp.146-153
- [3] <http://zgate.gsi.go.jp/>
- [4] <http://fuchu.csis.u-tokyo.ac.jp/>
- [5] 有川正俊 (2001),“岩波講座マルチメディア情報学 5 画像と空間の情報処理,” 第 3 章, 岩波書店
- [6] <http://www.baylor.edu/grass/>
- [7] 伊理正夫 (1986),“計算幾何学と地理情報処理 第 2 版,” 第 1 章, 共立出版

- [8] 下山泰志, 飯田繁, 河瀬和重, 松本浩明 (1995),“50m メッシュ標高データの精度検証に関する研究,” 国土地理院時報, No84, pp.64-72
- [9] B. プリュー (2001),“インターネット GIS,” 第 1 章, 古今書院
- [10] <http://tkypub.eri.u-tokyo.ac.jp/harvest/>
- [11] <http://regis.berkeley.edu/grasslinks/>
- [12] 大槻説平,“知的学習環境の構成論,” 信学論 (D-1), vol.J83-D-1, No.6, pp.515-522, 2000