

地理情報システム(GIS)を利用した地熱資源の 評価(アセスメント)新計画

茂野 博¹⁾・阪口 圭一¹⁾

1.はじめに

「情報技術(IT)革命」の進展の中で、日本でも地理情報システム(Geographicalあるいは Geographic Information System, 以下GISと略記)の利用が急速に広がっている。政府は、電子政府建設の一環として1995年に「地理情報システム(GIS)関係省庁連絡会議」を設置し、「国土空間データ基盤の整備及びGISの普及の促進に関する長期計画」、「国土空間データ基盤標準及び整備計画」などを進めてきた。2002年度からは「GISアクションプログラム2002-2005～GISにより豊かな国民生活を実現するための行動計画～」を進める予定となっている。これらについては、国土交通省のWWWホームページなどに整理されている(本説末尾のURL一覧を参照)。

地質～固体地球科学・工学の分野でも、GISの利用とともに電子地理情報の整備が急速に進展しつつある(例えば、木戸ほか, 1999; 綱木, 1999; 村上・古宇田, 2001; 野上ほか, 2001; 大塚ほか, 2001; 太田・今井, 2001; 村上, 2002)。筆者らは、地質調査所地殻熱部において日本の地熱資源の実態解明・評価に関する調査・研究を進めて来たが、2001年度より産業技術総合研究所の地圏資源環境研究部門(地質調査総合センターの一部門)の地熱資源研究グループとして、「GISを利用した地熱資源の評価(アセスメント)の研究」を開始した。その初年度のまとめとして、本説では課題に係わるGISと電子地理情報を巡る現状を整理し、今後当面の研究の進め方の案を紹介する。

地熱資源の評価では、全国レベルから開発有望地域レベルの地下浅部～深部の温度構造と貯留構造を明らかにすることが基本的な課題である。ま

た、地熱資源の分布と自然公園・温泉地などの地表環境との関係の整理、地熱開発の経済性の評価なども重要な問題である。さらに、長期的～究極的な課題として、火山-温泉-地熱地域の資源開発-環境保全-災害防止を総合的に捉えた最適利用化の視点からの検討が望まれる。これらの目的で、地表2次元～地下3次元空間に関する多種多様な多量のデータを編集・管理し、重層的に解析・表示するという複雑な作業が必要である。GISを利用することにより、これらの問題をどの様に総合的・発展的に、また効率的・経済的に処理・解決するかの基礎的な議論・提案が、本説の主題となっている。

以下、本説の2.では「地理情報システム」、3.では「日本の地球科学関連分野の地理情報の整備状況」、4.では「地熱資源評価」についてそれぞれ概要を紹介する。その後、5.では本題の「GISを利用した日本の地熱資源の評価(アセスメント)新計画」の概要を説明し、6.では「GISを利用した地熱資源評価の問題点と解決策」を整理・議論する。最後に7.で本説の「まとめ」を行い、8.「おわりに」では固体地球科学・工学分野での今後のGISと電子地理情報の利用の総合的な発展に向けて、若干の提案を述べる。

本説については、対象とする分野が広範でまた技術の進歩が速いため、不十分なりまとめに終わっている部分が多いことが危惧されます。読者の方々からご意見・ご批判を頂ければ幸いです。なお、用語として本説では従来の経緯を重要視して「評価」を用いたが、未利用資源についての検討や環境問題との関係などを含めたより広い意味で、括弧書きで「アセスメント」も一部使用したことをお断りする。また、本説では企業名・商品名などを一

1) 産総研 地圏資源環境研究部門

キーワード: 地熱, 新エネルギー, 資源評価, 地理情報システム, GIS, データフォーマット, 標準化, 国土数値情報

部例示したが、これらについて筆者らはその使用を必ずしも推奨するものではないことをお断りする。

2. 地理情報システム

GISの全容～概要については、すでに多くの教科書などにまとめられている(例えば, Star and Estes, 1990; Maguire *et al.* ed., 1991; Juppelatz and Tian, 1996; 中村ほか編, 1998; 矢野, 1999; Longley *et al.* ed., 1999; Pan and Harris, 2000; 野上ほか, 2001)。ここでは本説に関連する部分を中心に、GISについて若干説明する。

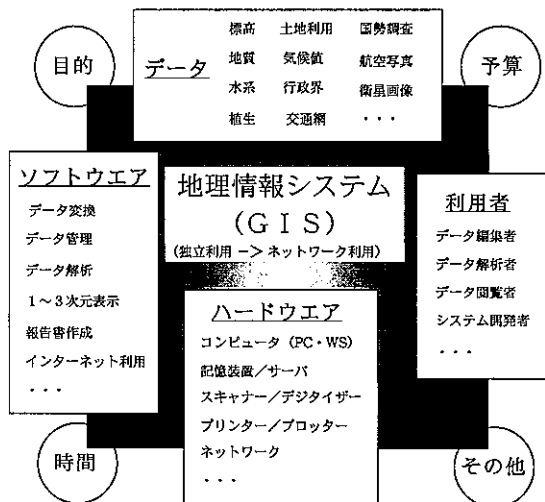
2.1 概要

GISは、地理空間に関係づけられる多種多様な情報を管理・処理・解析・応用するための総合的かつ幅広い電子技術であり、行政(国土整備計画, 都市計画, 防災計画など), 学術(地形・地理調査, 環境・生態調査など), 商業(電子地図, カーナビゲーション・システム, マーケティングなど)などの様々な分野で、色々な利用が可能である。

GISは、1950-60年代の政府～研究機関の大型コンピュータを用いた研究・試用にその歴史が始まるが、1990年代のパーソナルコンピュータ(以下パソコンと略記)の飛躍的な進歩とともに商業的～一般利用者にも様々な使用されるようになり、インターネットを通じたネットワーク利用が急激に広がりつつある(例えば, Plewe, 1997)。

GISは、ハードウェア(以下ハードと略記)、ソフトウェア(以下ソフトと略記)、データおよび利用者(ユーザ)によって構成される(第1図)。近年概念が拡張されて空間情報システムとも呼ばれているが、多くの場合は水平2次元の地理空間を座標とした(位置データ)、多種多様な情報(属性データ)が処理対象となっており、それらの時間変化(時間データ)も取り扱われる。

近年、パソコン、周辺機器、ネットワークの高機能化・低価格化およびオペレーティング・システム(以下OSと略記)の寡占化が進み、これらについての費用負担や選択の問題は相対的に小さくなっている。その反面、OS・ソフトの頻繁な高機能化や規格更新などによる費用負担の増加や継続性・互換性の低下が、利用者には新たな問題となっている。



第1図 GISの構成要素の説明図。

2.2 GISソフト

GISソフトには、使用目的、機能、使用可能なハード・OS環境、価格、開発元などについて様々なものがある(日本で利用されているものについては、例えば、中村ほか編(1998)、日本建設情報総合センター(2001)、日本地図センターのホームページなどを参照)。利用者がGISソフトを選定・使用するに当たっては、操作性、サポート体制、継続性・発展性なども重要な点である。ここでは、GISソフトを仮に汎用とそれ以外の特定用の2種類に区分して整理する。

汎用のGISソフトは、非限定的に色々な利用目的で、多種多様なデータについて様々な管理・解析・表示・応用などを可能とする総合的なシステムである。そのため、高価であるとともに、初心者には複雑で操作が難しい傾向を持つ。システム全体が巨大なために、低～高機能水準に分けて、また特殊機能を別売モジュールやエクステンションとしてシリーズで販売されている場合も多い。第1表には、世界的に広く使用されている汎用的なGISソフトの一覧表(Juppelatz and Tian, 1996)を示す。汎用GISソフトは、巨大で複雑なシステムでありまたその機能更新などが頻繁なため、機能の相互比較による優劣付けや目的に応じた最適選択などが難しい。

一方、特定用のGISソフトは、特定の利用目的で限定された種類のデータの処理を対象としており、特殊目的用で操作に専門的な知識を必要とする高価なものや、一般用で操作が初心者でも容易な低

第1表 主要な汎用GISソフトの一覧表(Juppenlatz and Tian (1996)による)。

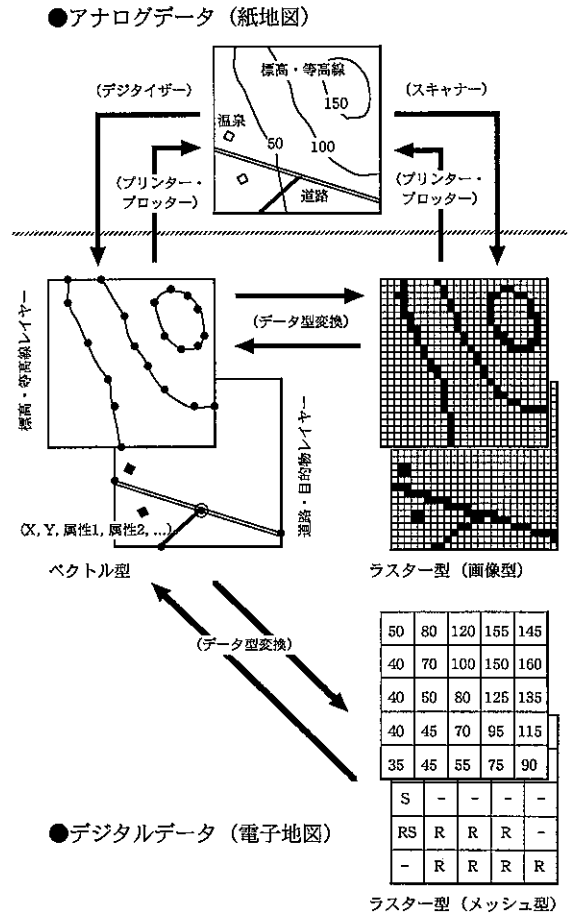
名称	(開発社名)
GenaMap	(Genasys ID)
TNTMips	(Microimages Inc.)
MicroStation and MGE	(Intergraph)
SPANS	(TYDAC Technologies Inc.)
ARC/INFO	(Environmental Systems Research Institute)
Smallworld GIS	(Smallworld Systems Ltd.)
MapInfo	(MapInfo Corp.)
Mapper	(Earth Resources Mapping Pty. Ltd.)
IDRISI	(Clark University)

価格のものなど多種多様である。システムとして、あらかじめデータが付属する、あるいはハードやデータが一体となっている場合もある。一般向けの代表的な例としては、市販の電子地図やカーナビゲーション・システムが挙げられる。国土地理院発行の各種の数値地図に付属するマップビューアや比較的低価格の表示ソフト(例えば、Bird's View, 地図画像ビューア)などもこれに当たる。しかし、このような特定用の低価格のGISソフトと表計算ソフト、プログラム開発ソフトなどを適当に組み合わせることにより、高度な地理情報の解析・表示作業を汎用GISソフトよりも効率的に進められる場合もある。

2.3 データの形式

GISで取り扱われる電子地理情報には様々なデータ型、ファイル規格などがあり、用いられる座標系、投影法などにも様々なものがある。データの型は、空間データの取り扱い方法によって、ラスタ(地図画像、衛星画像など)、ベクトル(点分布、線分布、面分布など)(第2図参照)のほかTIN (Triangulated Irregular Network), CAD (Computer Aided Design)などに区分され、各々に様々な長所・短所がある(例えば、Star and Estes, 1990; 野上ほか, 2001)。

各種の地理情報を電子数値化する場合、またそれをGISで利用する場合などには、その目的やデータの特性に応じて、データ型、ファイル規格、座標系・投影法などについて適当なものを選定・使用する必要がある。特定用GISソフトでは、これらについて処理可能な種類は限られる。汎用GISソフトでは、多様なデータ型、ファイル規格、座標系・投影法などの様々なデータの入出力や変換操



第2図 GISで取り扱うデータ型の説明図。

作を可能としているが、それには色々な制約や労力を伴う場合が少なくない。

ここでは、本説の5.~6.との関連で、データ型としてラスタ型の一つであるメッシュ型(特に一定の行列サイズで多層(マルチレイヤー)での使用)に注目する。メッシュ型は、他の型に比較してデータ量が一般に大きくなる、描画が滑らかでないなどの短所もあるが、非常に単純明瞭な構造で、テキスト文としての処理や表計算ソフトでの処理が容易、対象空間範囲の抽出・結合などが容易、異なるデータ種間の演算処理が容易、数値シミュレーションへの展開が容易などの長所を持っている。メッシュ形式によるデータの解析・表示は、古くから地形解析や物理探査などで多用されており、また多波長バンドの衛星画像の処理とも類似であり、各種の処理方法が高度に発達していて必ずしも高価な汎用GISソフトを必要しない点も長所である。

地球科学・工学の応用分野の例	分野・手法別の要素データ(要素図・基本図)の例 (○:主に地表水平2次元データ, ●:主に地下空間3次元データ)														応用分野の主題図(統合図)の代表例			
	地理データ分布				地質データ分布				化学データ分布				物理データ分布				炭田・油田分布	資源有望度分布
	標高	水系	行政界	その他	地質單元	地質構造	変質帯	その他	岩石化学	水溶化学	ガス化学	その他	重力	比抵抗	弾性波	その他		
資源評価	◎	?	◎	◎	●	●	?	●	●	?	●	?	●	●	●	●	炭田・油田分布	資源有望度分布
金属鉱床	◎	?	◎	◎	●	●	●	●	●	●	?	?	●	●	?	●	各種鉱床分布	資源有望度分布
地熱	◎	◎	◎	◎	●	●	●	●	●	●	?	?	●	●	●	●	温泉・噴気地分布	資源有望度分布
環境保全	◎	◎	◎	◎	●	●	●	?	?	?	●	?	?	?	?	●	環境汚染度分布	汚染度予測分布
水汚染	◎	◎	◎	◎	●	?	●	?	●	●	?	?	?	?	?	?	環境汚染度分布	-----
土壌汚染	◎	?	◎	◎	●	●	?	●	●	●	?	?	?	?	?	?	環境汚染度分布	-----
廃棄物処分	◎	◎	◎	◎	●	●	?	●	?	?	?	?	?	?	?	●	処分場適地分布	-----
災害防止	◎	?	◎	◎	●	●	?	?	?	?	?	?	?	?	?	●	震源・活断層分布	災害危険度分布
地震	◎	?	◎	◎	●	●	●	●	●	●	?	?	●	●	●	●	火山活動分布	災害危険度分布
火山噴火	◎	◎	◎	◎	●	●	●	●	?	?	?	?	?	?	?	●	地滑り地分布	災害危険度分布
地滑り	◎	◎	◎	◎	●	●	●	●	?	?	?	?	?	?	?	●	地滑り地分布	災害危険度分布

第3図 地球科学・工学の様々な応用分野でのGIS利用における要素データ・図と主題図(統合図)の組合せの概念図。

2.4 主題図(要素データと統合図)

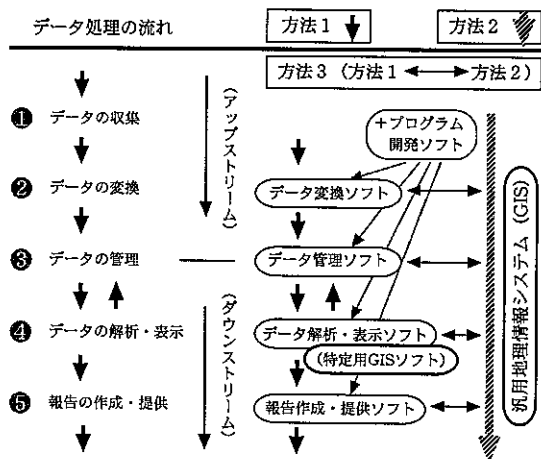
地図は、地形・道路・人工物などをまとめた多目的用の一般図(例えば、2.5万分の1地形図)と特定の目的・内容を持つ主題図(例えば、地質図)とに大まかに分類されるが、これらの各々の地図は地理情報の種類毎に透明紙に描かれた図面(版、シート)の積み重ねである。このような単項目・要素の地理情報のデータ・図を、航空写真、衛星画像なども含めて、ここでは要素データ・図と呼ぶ。

各種の要素データ・図が適当な形式で電子化されていれば、GISを用いて2種類以上の要素データ・図を重層的に解析・表示することにより、非常に柔軟にまた効率的に様々の高度に編集された主題図(ここでは、統合図と呼ぶ)を作成することができる。新たな要素データ・図が得られた場合などにも、統合図の修正を迅速に行うことができる。

第3図には、資源評価、環境保全、災害予測などの地球科学・工学の応用分野では、高度な主題図(統合図)の作成のために、様々な種類の要素データが必要であることを概念的に示した。

2.5 データ処理の流れ

GISを用いたデータの処理は、概略的に収集-変換-管理-解析-表示-報告に区分され、管理を



第4図 地理情報の処理の流れの概念図。

境として前半がアップストリーム(上流過程)、後半がダウンストリーム(下流過程)と呼ばれる。具体的なデータ処理の流れには、作業目的、電子データの存在の有無、データの特性・形式、使用するハード・ソフトの種類、担当者の経験・能力、予算、期限などによって様々な可能性がある(第4図、方法1, 2, 3)。

GIS利用の発展のためには、信頼性の高い様々な基本的なデータが、色々な目的に利用し易い形で規格化・標準化されて、電子地理情報として一般利用者に低価格で提供されることが必要不可欠

第2表 公的機関が作成・提供する日本全国レベルの主要な電子地理情報(資源・環境に関連の強いもの)の一覧表。

名称	提供元	データ形式	公開/非公開	有料/無料
● 地図・地形				
数値地図25000 (地図画像)	国土地理院	ラスター (TIFF)	公開	有料
数値地図200000 (地図画像)	国土地理院	ラスター (TIFF)	公開	有料
数値地図50mメッシュ (標高)	国土地理院	メッシュ	公開	有料
数値地図250mメッシュ (標高)	国土地理院	メッシュ	公開	有料◎
数値地図1kmメッシュ (標高)	国土地理院	メッシュ	公開	有料
数値地図25000 (空間データ基盤)	国土地理院	ベクトル	公開	有料
JMCマップ (行政界・道路・水系など)	日本地図センター	ベクトル	公開	有料◎
● 土地利用・環境				
土地利用 (1/10細分区画)	国土地理院	メッシュ	公開	有料◎
植生 (自然環境情報)	環境省	メッシュほか	非公開	---◎
自然公園 (自然環境情報)	環境省	メッシュほか	非公開	---◎
● 社会・産業統計				
人口 (国勢調査)	総務省	メッシュ・市区町村単位	公開	有料
商業統計	産業経済省	メッシュ・市区町村単位	公開	有料◎
● 気候				
平均気温 (気候値メッシュ)	気象庁	アメダス観測点・メッシュ	公開	有料◎
年間降水量 (気候値メッシュ)	気象庁	アメダス観測点・メッシュ	公開	有料◎

備考: 本表の作成は中村ほか編 (1998), 川端 (2000), 野上ほか編 (2001) などによる。航空写真, 衛星写真, 地震観測データなどは除く。地質調査所-地質調査総合センターによるものは, 第4表を参照。◎は, 国土交通省のWWW 国土数値情報ダウンロードサービスにより, 無料で同一~類似データの入手が可能なもの (本文末尾のURL一覧を参照)。

である。多種多様な基本的データがこのような形で提供されれば, 各GIS利用者は主題データのアップストリームに自己努力を必要とする場合でも, 後半のダウンストリームが非常に効率的なものとなり, より高度な各種の解析の実施や統合図の作成が可能となることが期待される。さらに, このような新たな主題データ, 解析結果, 統合図が同様の方式で規格化・標準化されて電子公開されれば, 他の目的・手法・主題データなどを持つ第三者がこれらをGISを用いて利用することにより, さらに発展的な解析・表示・報告が可能となり, GISを中心に正の情報フィードバック系が確立することとなる。

3. 日本の地球科学関連分野の地理情報の整備状況

3.1 日本における概況

日本の基盤的な地理情報の電子化・データベース化 (以下DB化と略記)・提供などは, 1970年代から主に官庁・研究所などの公的機関で進められて来たが, その範囲, 内容, 方法, 価格などは必ずしも満足されるものではなかった (例えば, Kubo, 1991)。しかし, 前述したように1995年以降は電子政府化の重点課題として「国土空間データ基盤の整備及びGISの普及の促進に関する長期計画」などが進められており, 2002年度からは「GISアクシ

ョンプログラム2002-2005」により一層の推進が行われる予定となっている。

第2表には, 公的機関が作成・提供する全国レベルの主要な電子地理情報について, 比較的最近までの状況を示す (地質調査所-地質調査総合センター分は後述する)。これらの多くは, JIS規格となっている標準地域 (~分割地域) メッシュ系 (例えば, 国土地理院・日本地図センター, 1998) に沿って, 位置情報を与えられている。

第2表の地理情報の中で最も基本的なものは, 比較的低価格で広く提供されている国土地理院の各種のデータセットである (国土地理院・日本地図センター, 1998)。その中で3種類の数値情報 (標高) は, 経度-緯度座標系に基づくDEM (デジタル標高モデル) で, 各一辺が概略1km, 250m, 50mのメッシュデータ (第3表) (以下, そのフォーマットを1km#, 250m#, 50m#と略記する) となっており, 各種地形解析の目的のほか各種主題図の基盤データとして必要不可欠なものとなっている。

近年, 地球科学・工学分野およびこれに関係が深い分野では, 飛躍的な測定技術の進歩, 様々な調査プロジェクト~プログラムの実施などにより多原理・多成分・多量のデータが取得・蓄積されているが, 電子整備化・公開化が今後加速推進されることが期待される。第2表には含まれていないが, 各種の地震観測網による震源分布やGPS観測

第3表 国土地理院によるメッシュ形式の3種類の標高データファイルフォーマット(数値地図(標高))の概要。

仕様 標準地域メッシュ系相当	1 kmメッシュ 第3次地域区画	250mメッシュ 同左1/4細分区画	50mメッシュ 同左1/20細分区画	(10mメッシュ) 同左1/100細分区画
各ファイルの単位	1/20万地勢図 (第1次地域区画)	1/20万地勢図 (第1次地域区画)	1/2.5万地形図 (第2次地域区画)	1/2.5万地形図 (第2次地域区画)
各ファイルの緯度範囲	40分	40分	5分	5分
各ファイルの経度範囲	1度	1度	7分30秒	7分30秒
各ファイルのデータ点数	80×80	320×320	200×200	1000×1000
各ファイルの大きさ\$	約30kB	約500kB	約200kB	約5MB

詳しくは、国土地理院・日本地図センター(1998)を参照。左の3種は、国土地理院の規格による。右端の(10mメッシュ)は、より高密度データへの利用可能性から参考として追記したものである。\$は、データがテキスト文で、各メッシュ点のデータフォーマットが1成分整数5桁(15)の場合である。

網による地殻変動分布なども地球科学分野の重要な地理情報であり、主管の行政・研究機関などのWWWホームページを通じてすでに一部のデータの閲覧や無料ダウンロード(次説参照)などが可能となっている。「GISアクションプログラム」によれば、関係各機関により2005年までに地滑り地形、火山地質、活断層分布、空中写真、各種衛星画像などが電子公開化される予定になっている。

3.2 クリアリングハウスとダウンロードサービス

前述したように、GIS利用の発展のためには、信頼性の高い様々な基本的なデータが色々な目的に利用し易い形で規格化・標準化されて、一般利用者に電子地理情報として低価格で提供されるとともに、そのことに関する情報が分かり易く総合的に提供されることが必要である。この課題に答えるために、WWW上にいくつかの地理情報のクリアリングハウス(データ情報(メタデータ)の提供サービスセンター)が構築されている。現在、主なクリアリングハウスとしては、国土交通省の国土数値情報、国土地理院の地理情報のゲートウェイ、東京大学空間情報科学研究センターのものなどがある(末尾のURL一覧を参照)。また、WWW上で一部のデータの無料ダウンロードサービスも行われている。第2表に示した地理情報の一部が、国土数値情報ダウンロードサービスにより各々固有のデータフォーマット(テキスト形式)で入手可能となっている。

アメリカ合衆国では、地下資源・自然環境・自然災害などに関係するかなり多くの種類の基礎的データについて、WWW上で検索～入手が可能となっており、さらにWWW上でのアトラス作成・出力

なども可能となっている(末尾のURL一覧を参照)。日本においても同様の試みが行われており、近い将来これらのデータについて利用し易い形で規格化・標準化されて、WWWを通じて低価格での提供と高度な利用が行われるようになることが期待される。

3.3 地質調査所-地質調査総合センターにおける流れ

日本およびその周辺海域を中心に、各種の地球科学・工学分野の調査研究データ・資料を国立研究機関として取得・蓄積・編集・出版してきた地質調査所では、1970～80年代から各種データの電子DB化が検討され(例えば、地質調査所, 1986)、1990年代になって一部の地理情報が主にCD-ROMを媒体として低価格で一般提供されるようになった(例えば、花岡, 1997; 村上, 1999; 雷・長谷川, 2000)(第4表参照)。

2001年に地質調査所は地質調査総合センター(独立行政法人産業技術総合研究所内)に改組されて、電子地理情報の編集・提供作業は知的基盤整備事業の一環として分野・手法毎に急激に拡大しつつあり、第1期を2004-05年度頃までとして様々な成果が公開される見込みとなっている(第4表参照)。同時に、「国土空間データ基盤標準及び整備計画」～「GISアクションプログラム2002-2005」などに沿って、固体地球科学・工学分野の独自のクリアリングハウスの構築、地質情報データセンター構想なども進められており、WWWホームページの内容も急速に充実化しつつある(例えば、村上, 2002)(末尾のURL一覧を参照)。

第4表 地質調査所—地質調査総合センターにおける地球科学データベース構築の現状(雷・長谷川(2000)を簡略化・一部更新した)。

地質科学インデックスデータベース		
地質文献データベース (GEOLOGIS)	既刊	WWW, CD-ROM
地質図幅目録	既刊	WWW
報告書目録	既刊	WWW
地質図索引図データベース	既刊	CD-ROM
地質標本データベース	計画	—
数値地質科学データベース		
数値地質図類		
地質図データベース (100万分の1)	既刊	CD-ROM, WWW
地質図データベース (20万分の1)	一部既刊	CD-ROM
地質図データベース (5万分の1)	計画	—
地質図データベース (東・東南アジア)	既刊	CD-ROM
海洋地質図データベース	近刊	—
画像類		
火山写真データベース	既刊	CD-ROM
衛星画像データベース	—	—
古地質図画像データベース	計画	—
20万分の1地質図(画像)	既刊	CD-ROM
地震・火山		
活構造データベース (50万分の1)	既刊	CD-ROM
被害地震・火山データベース	既刊	CD-ROM
地震分布データベース	既刊	CD-ROM
地下水		
地下水井データベース	近刊	—
地下水観測データベース	計画	—
資源		
温泉データベース	既刊	CD-ROM
地熱資源データベース	既刊	CD-ROM
海洋鉱物資源データベース	計画	—
岩石		
岩石標準試料データベース	既刊	WWW
岩石物性値データベース	既刊	WWW
結晶質岩石データベース	計画	CD-ROM試作版
年代値データベース	計画	—
地球物理データ類		
磁気異常データベース (東アジア)	既刊	CD-ROM
磁気異常データベース (日本及び周辺海域)	近刊	—
重力異常データベース (日本)	既刊	CD-ROM
地殻探査データベース (屈折, 反射)	計画	—
熱流量データベース	計画	—
音波探査記録データベース	既刊	CD-ROM

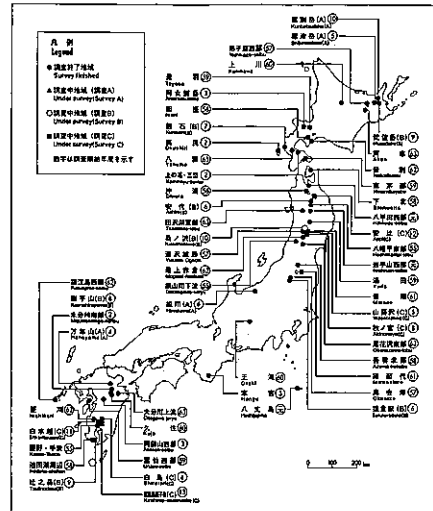
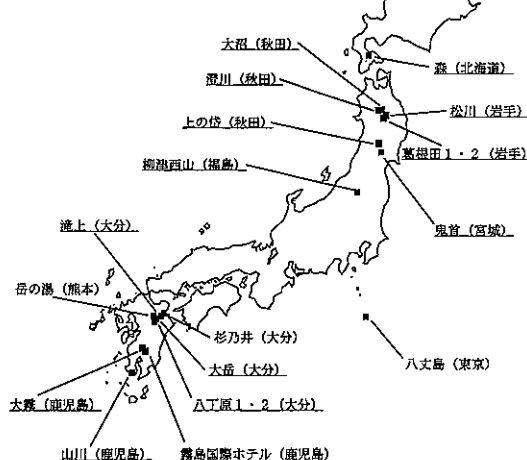
3.4 日本の地熱資源を巡る流れ

日本の地熱資源を巡っては、1973年の第1次エネルギー危機以降、国・研究機関・民間企業などにより調査・研究・開発・利用が飛躍的に進められて、2001年現在約15ヵ所、総容量約53万kWで地熱発電が実施されている(第5図(左))。その結果膨大なデータが蓄積しており、その電子化・DB化・公開化などについて、部分的ながらも色々な取り組みが進められてきた。

地質調査所では、1970年代から例えば温泉水の溶存化学組成データの電子化による集積・処理・出版などが行われていた(例えば、比留川ほか, 1977, 1981)。1980年代にメインフレーム～ミニコンを用いて、独自のGISである「地熱情報データベース・システム(SIGMA)」の研究・開発が行われ、地熱資源に係わる多様な地球科学的データに適したフォーマット形式、データ管理・処理方法などが体系的に検討されて、既存データの一部分が電子化・DB化された(例えば、地質調査所, 1986)。その後、「地熱情報データベース・システム」のハード・ソフトシステムの更新は途絶えたが、その電子データセットと解析結果は誌上出版される(例えば、比留川ほか, 1988; 矢野ほか, 1989; 須田・矢野, 1991; 地質調査所, 1991)とともに、その後の各種電子地理情報の整備・処理・公開に寄与している(例えば、地質調査所, 1995; 日本列島の地質編集委員会, 1996)。

日本の地熱発電所 (2001年)

(下線は発電容量が10MW以上を示す。)



第5図 日本の地熱発電所(日本地熱調査会(2001)に基づく)およびNEDO地熱開発促進調査地域(NEDO, 2001)の一覧図。

地質調査所では、地熱資源について数多くの報告書類とともに10万分の1～300万分の1縮尺の各種の編集図が出版されてきたが、1993年以降には50万分の1地熱資源図のシリーズが5図幅(新潟、秋田、九州(福岡・鹿児島)、札幌、青森)出版された。それらの編集に用いられた温泉、変質帯、地熱調査地域などについての電子データセットは、最近CD-ROM出版された(地質調査所地熱資源図作成グループ, 2000; 阪口・高橋, 2002)。

一方、新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下NEDOと略記)により実施されている地熱開発促進調査(1980年より全国約50地域で実施(第5図(右)), 各地域で各種の地表調査および深度1～2kmの調査坑井を数本掘削)については、WWWにより各地域の調査報告書の全体がPDF形式でダウンロード可能となっている(阿島, 2001)(末尾のURL一覧を参照)。NEDOによる全国地熱資源総合調査、地熱探査技術等検証調査などについても、同様に各種の報告書のダウンロードが可能である。しかし、残念ながら現状ではこれらのデータは電子数値化されていない。

地熱開発～関連企業では、地熱発電開発地域を中心に各種の地表調査、坑井掘削、地熱流体の生産・還元モニタリングなどの取得データについて、各々独自の方法により電子化・DB化とデータ処理・解析が行われ、これらに基づいて地熱発電所の維持管理や新たな調査・開発などが進められている。しかし、これらの電子データ、データ管理・処理システムなどについては、未公表の部分が多い。

4. 地熱資源評価(アセスメント)

4.1 地熱の科学と工学

地殻浅部の3次元温度分布は、「広域熱伝導」と「マグマ溜-高温固結岩体」を2種類の熱源として、岩石の熱伝導性の分布、水を主成分とした流体対流の状況などによって規定されている。「広域熱伝導」は、地球内部における放射性元素の崩壊を主な起源としており、通常非火山性(地熱)地域の地温勾配は、20～40℃/km程度である。これに対して、「マグマ溜-高温固結岩体」は、地下深部から上昇して地下浅部に定置したマグマ(温度600～1,200℃程度)を起源としており、その深度、規模、

年齢、付随する流体対流の状況などに応じて、火山性(地熱)地域では深度0.5～3.0kmで200～400℃程度に達する場合がある。このような地下の温度・熱分布や地熱流体の賦存は、科学的な研究対象であるとともに、地下資源として工学的な開発対象となっている。

地熱資源は、古くから温泉浴利用が行われて来たが、CO₂排出が少ないクリーンなエネルギーとして、近年世界的に地域暖房、温室栽培、道路融雪などへの直接利用が進められている。また、1973年のエネルギー危機以降世界的に地熱発電開発が進み、2000年現在の合計発電容量は世界で約870万kWe、日本でも約53万kWeに達している(日本地熱調査会, 2001)。

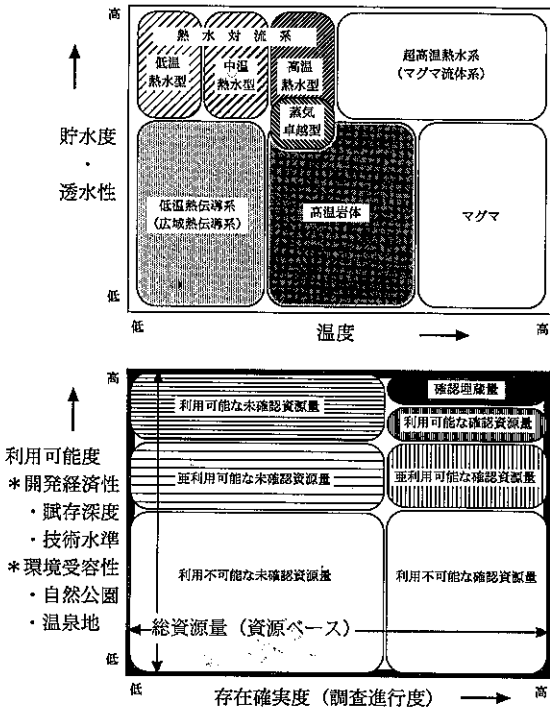
日本は、化石燃料資源に乏しいが第四紀火山の分布に恵まれており、新しいエネルギー資源として地熱の開発が期待されている。しかし、日本の地熱開発については、現状での若干の経済性の低さ、自然公園・温泉地などとの関係の調整の難しさなどにより、近年新たな開発が停滞している。

4.2 地熱資源の分類

地熱資源は、地下の熱と水の存在の程度に応じて概略第6図(上)に示される型に分類されている(例えば、U.S.G.S., 1975; 1978)。これらの多様な地熱資源の中で現在商業的開発が進められているのは、基本的に高温(～低温)環境下の大規模な高透水性の「貯留層」に自然に水が貯蓄されている「熱水(対流)系」型である。また最近では、深度数10～数100mの安定温度の地層(一部地下水を含む)の熱を、「地中熱」として地域空調・道路融雪などに用いる地熱利用も進展中である(第6図(上)では、広域熱伝導系の直接熱利用に相当)。

高温ではあるが水の貯留環境に劣る「高温岩体」型では、水圧破碎などによる人工的な透水性の改善や強制的な流体の循環が必要であり、現在その技術開発試験が進められている。より高温の主にケイ酸塩溶融体である「マグマ」型についても、将来のエネルギー資源としての技術開発研究が継続されている。

一方、他の地下資源と同様に第6図(下)に示されるように、地熱資源は探査・坑井掘削・開発の進行程度に応じた存在確実度(横軸)および現状での



第6図 地熱資源についての2種類の分類方法(上:温度と流体存在の実態による, 下:調査進行の程度と利用可能の程度による)の概念図。

開発経済性や環境受容性に応じた利用可能度(縦軸)によっても分類されている(例えば, U.S.G.S., 1975; 1978), 熱水系型地熱資源の開発経済性に

については, 貯留層の深度, 規模, 温度, 透水性などが主要なパラメータとなるが, 利用方法・設備仕様に大きな影響を与える貯留層中の流体相(熱水系・蒸気卓越型)や流体化学特性(pH, 塩濃度, ガス濃度, 有害成分濃度)などの効果も大きい。

4.3 日本の地熱資源評価の現状

日本における地熱資源の資源(量)評価は, 第5表に示すように, 発電利用を主目的とした高温熱水系型資源を中心に1950年代後半から様々な方法で試みられてきた, 1995年以降は, 特に坑井調査データが存在している地域の開発有望性が高い高温熱水系について, 21世紀に向けた発電技術懇談会地熱部会(1996)などにより当面の発電開発が可能な資源量などの検討が行われている。

しかし, これらの資源(量)評価については, 使用データや解析方法・結果の詳細が十分に公開されておらず, 信頼性や継続性が十分とは言えない。また, 第6図(上・下)に示した地熱資源の型・特性・品位, 存在確実度, 利用可能度との関連などに十分踏み込んだ体系的な評価にまでは至っていない。より基本的には, 平面的に日本全国~地方~有望地域の各レベル, 垂直的に地表~浅部~深部~超深部の各レベルについて, 地下環境(温度構造および貯留構造)の実態が十分に解明・整理されていないことが問題となっている。

第5表 日本における地熱資源(量)評価の歴史(NEDO(1989), 地質調査所(1991), 茂野(2000)などを簡略化した)。

年度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
組織	1957 地調	1970 地熱調査会	1974 産枝等地熱 分科会	1977 地調	1977 視察システム センター	1985 地研	1985 NEDO/地調	1986 NEDO/地調	1987 推進委	1989 NEDO
単位	MWe	MWe	MWe	MWe	MWt	MWe	MWe	MWe	MWe	MWe
マグマ(潮)	—	20,000	—	—	—	—	—	—	—	—
650-1200℃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
高温岩体	—	—	100,000	—	17,550	—	—	***	14,923	—
300-650℃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
熱水対流系(#1)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
蒸気卓越型	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
および	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ca. 240℃	4,500	50,000	50,000	① 25,580	40,140	***	20,540	—	—	22,070
高温熱水系	—	103,900	100,000	② 19,380	—	—	5,820 (>200℃)	(100~200℃)	—	—
>150℃	—	—	—	—	—	—	14,720	① 4,319	—	—
中温熱水系	—	—	26,000	—	—	—	(150~200℃)	② 2,054	—	—
90-150℃	—	—	50,000	—	—	—	—	③ 13,000	—	—
低温熱水系	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50-90℃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
深部熱水系	—	—	50,000	—	33,480	—	—	—	***	44,000
>240℃	—	—	100,000	—	—	—	—	—	—	47,230
合計(上記熱水対流系)	—	—	245,000	—	—	—	—	—	—	64,000
	—	—	370,000	—	—	—	—	—	—	69,300
貯留熱水系(#2)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
60-90℃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
備考	・主要13地域	・マグマ層残存 熱層法	—	①自然放熱量法 ・直接法	単位面積当たり エネルギー× 面積	等積法	①全国推定	全国16ブロック について面積法	等積法	方式-2として 地熱資源賦存量 域(204地域)に ついて面積法 方式-1として 各々***を算出
#1:主に第四紀火山地域	—	・自然放熱量法 ・面積法	—	②収斂水量法	—	—	②全国8地域	—	—	—
#2:主に非第四紀火山地域	—	・包蔵水量法 ・傾斜水量法	—	—	—	—	包蔵水量法・ 熱層法	—	—	—

日本における今後の長期的・総合的な地熱資源の利用の発展を考える場合には、より進んだ体系的で客観性・信頼性の高い、また更新性・公開性に優れた地熱資源の評価～アセスメントが必要であろう。この目的で、GISの寄与が大いに期待される。

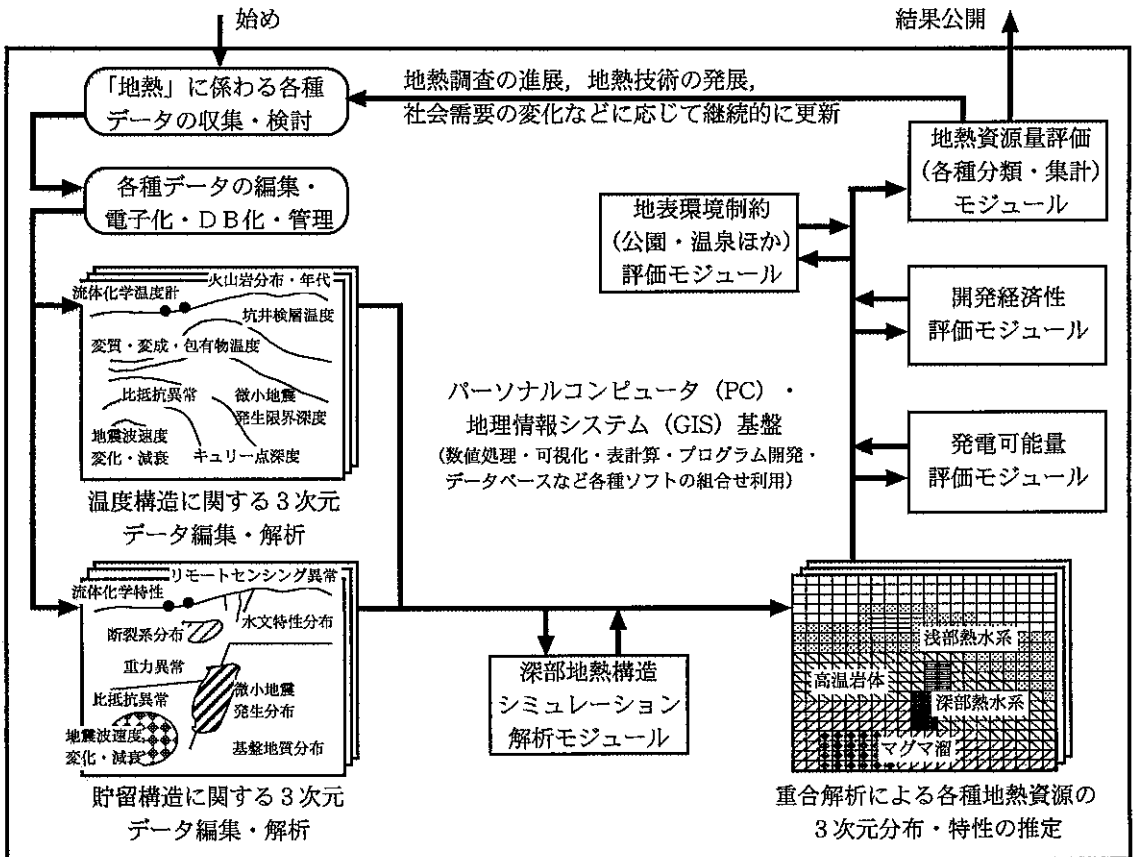
5. GISを利用した日本の地熱資源の評価(アセスメント)新計画

日本の多様な地熱資源について、長期的・総合的な探査・開発・保全(最適利用化)に資する目的で、茂野(2000)は地熱資源(量)評価(支援)システムの一試案を示した(第7図参照)。本システムは、GISを構成の中心として処理内容毎にモジュール化したもので、公開性、継続性・更新性、操作性、経済性などを配慮したものとなっている。

その要点(1)～(10)を、全文引用の形で以下に

示す。

- (1) 広範に使用されて将来の継続性・発展性が期待できるとともに、操作性に優れた市販のPCとGISをシステム構成の中心とする。
- (2) すでに電子化された(場合によっては新たに電子化することにより)各種の既存の地熱データおよび地球科学データを利用し、これら进行处理・変換して使用する。
- (3) 地熱資源(量)評価のための各種データの管理・処理については、基本的に日本の地下を適当な間隔で3次元ブロック化し(例えば、国土数値情報の3次元メッシュ(～1kmグリッド)を基準とする)、各セルを単位に行い、副次的に水平シートおよび垂直コラムを用いる。
- (4) さらにセル(シート、コラム)の統合・分割により、整合性を持った全国-地方-地域-貯留層の多レベルの資源(量)解析・評価を可能とする。



第7図 GISを基盤とした発展的・公開的な地熱資源評価(アセスメント)システム(案)の概念図(茂野(2000)を改編)。

- (5) 地熱資源(量)評価の第1段階の解析として、各セル単位で独立に、定性的～定量的な温度構造評価および貯留構造評価(孔隙率、透水性の分布・特性についての総合的な指標化～数値化)を行う。
- (6) 上記(5)の温度構造評価値、貯留構造評価値を中心とした演算により、各セル単位で資源型(マグマ溜、高温岩体、各種熱水系、広域熱伝導系など)とその特性・品位(開発可能性など)の推定を行う。
- (7) 上記(6)の結果を地域別、深度別、資源型別、特性・品位別などで集計することにより、資源(量)評価を行う。
- (8) 必要に応じて、多変量統計解析モジュール、熱構造シミュレーション解析モジュール、地表環境評価(自然公園、温泉、道路、行政区など)モジュール、開発経済性評価モジュールなどを開発・購入して組み合わせることにより、より多目的・高度な解析・評価を行う。
- (9) 必要に応じて、使用データの信頼性指標(関数)、同じく公開度指標、解析結果の確実性指標(関数)などを併用することにより、確実性などを含めた資源(量)解析・評価を可能とする。
- (10) 上記(1)～(2)のハード・ソフト・各種データの追加・更新、(3)～(9)の詳細化・更新などを通じて、過去の結果との継続性・整合性を持つと同時に、社会環境や需要の変化に応じたより高度で迅速な地熱資源(量)解析・評価が可能となる。

また、本システムの留意点(1)～(3)を、その前段から以下に引用する。

・・・現時点では、上述した地熱資源(量)評価(支援)システムは、概念的なものであり一試案に過ぎない。そのハード・ソフト構成、各解析モジュールの構成、使用データの種類とその選択・交換・管理方法などには、様々な可能性～発展性がある。しかし、ここではその実体化についての議論は行わない。今回の試案が、今後の組織的あるいは個人的なレベルでの、互換性を持った多様な地熱資源(量)評価(支援)システムの構築と評価実施への参考になることを期待したい。最後に、本システムの要点・注意点として、繰り返しを含むが以下の3点を挙げる。

- (1) 評価(支援)システムの中心部分が公開されて、資源(量)評価の方法、評価結果の主要部分等が、第三者によってトレース可能で、さらに時代の要請に応じた継続的な発展が可能となる必要がある。
- (2) 膨大な各種の地熱資源調査データが公開化・電子化されて、より広いより効率的な利用が可能となる必要がある。
- (3) 特に、深部地熱資源については、日本の現状では調査・掘削・開発例が限られており、実態に不明な点が多い。従って、上記のシステムとデータを用いた資源(量)評価や有望地域抽出の結果は、当面いくつかの可能性モデルに基づいた試行的なレベルに止まらざるを得ない。

本説で述べる「GISを利用した地熱資源の評価(アセスメント)の研究」では、上記の案を基礎に、今後4年を第1期として発展的な基盤の確立を目標に作業を進める予定である(第6表参照)。初年度の2001年度には、概念設計と計画スケジュールの作成が進められた。今後2002-03年度は、広域地域の評価(全国～地方～都道府県レベル)および有望地域の評価(地熱発電開発地域～地熱開発促進調査(NEDO)レベル)の2レベルに分けて、代表的な地域のケーススタディを進める予定である。

次の6. では、本計画の初年度の内容として、上記のシステムの実体化への問題点を中心に、検討を加える。

第6表 「GISを利用した日本の地熱資源の評価(アセスメント)研究」計画(第1期)のスケジュール(案)。

年度	主な内容
2001年度	第1期の概念設計とスケジュールの作成
2002年度	全国～広域地域レベルについての手法の検討と試行
2003年度	地熱開発有望地域レベルについての手法の検討と試行
2004年度	総合的な検討、第1期のとりまとめと第2期の計画策定

6. GISを利用した地熱資源評価の問題点と解決策

5. で述べた考え方に沿って地熱資源の評価を進める場合、単に多種多様な空間2～3次元データを重層的に表示するばかりではなく、様々な数値演算処理～数値シミュレーション解析を行う必要があり、その作業には大小様々な複雑に絡み合った問

題が出現することが予想される。特に、(1)空間3次元データの処理方法、(2)多種多様なデータの整備方法、(3)坑井データの処理方法、(4)データファイルの管理方法などが、基本的な問題点と考えられる。以下にこれらについて整理し、予想される問題の性質・状況に応じて一部は戦略的な解決策を、一部は当面の暫定的な対応策を述べる。

6.1 空間3次元データの処理方法

前述したように現在市販のGISソフトには様々なものがあるが、その大多数は水平2次元空間を基本にデータの管理・処理を行っている。このため、固体地球科学・工学分野で重要な地下深度方向を加えた3次元空間への適用が難しい(例えば、野上ほか、2001)。

基本的に空間3次元データは、2次元データに比較してデータ量が飛躍的に増大し、特にベクトル型については管理・処理・表示が難しい。このため、様々な手法的可能性はあるが(例えば、Raper and Kelk, 1991)、空間3次元を基本とする汎用的なGISソフトの開発は難しく、将来的な課題となっている。現状でも3次元の空間～地下情報を取り扱えるGISソフトも存在する(例えば、村上、2000)が、特定目的用でデータ互換性の低いものであり、また高価でソフトの操作が初心者には難しい。

この空間3次元データの処理問題への対応には、3つの進め方が考えられる。

第1は、取りあえず空間3次元データの処理は棚上げとし、優れた空間3次元GISソフトの出現を待ってまとめて処理を行うという進め方である。しかし、空間3次元GISソフトについては研究開発が進められているが(例えば、村上・古宇田、2001)、非常に難しい課題であるためその一般利用化までには今後かなりの長期間を要するものと思われる。また、利用可能となる3次元GISソフトの能力、データ形式・規格、操作性、価格などについて、現状では予測が困難である。

第2は、既存の空間3次元GISソフトを利用する進め方である。しかし、上述したように現状では3次元GISソフトはまだ未成熟であり、特定のものを早急に変更して今回のシステムの中核的な位置付けをすることは、長期的な観点からは問題が多いと思われる。また、具体的に現状の空間3次元GIS

ソフトの中から、今後必要な作業への適合性、外部とのデータ・解析結果の互換性、将来の継続性・発展性などが高いものを選択することが難しい。

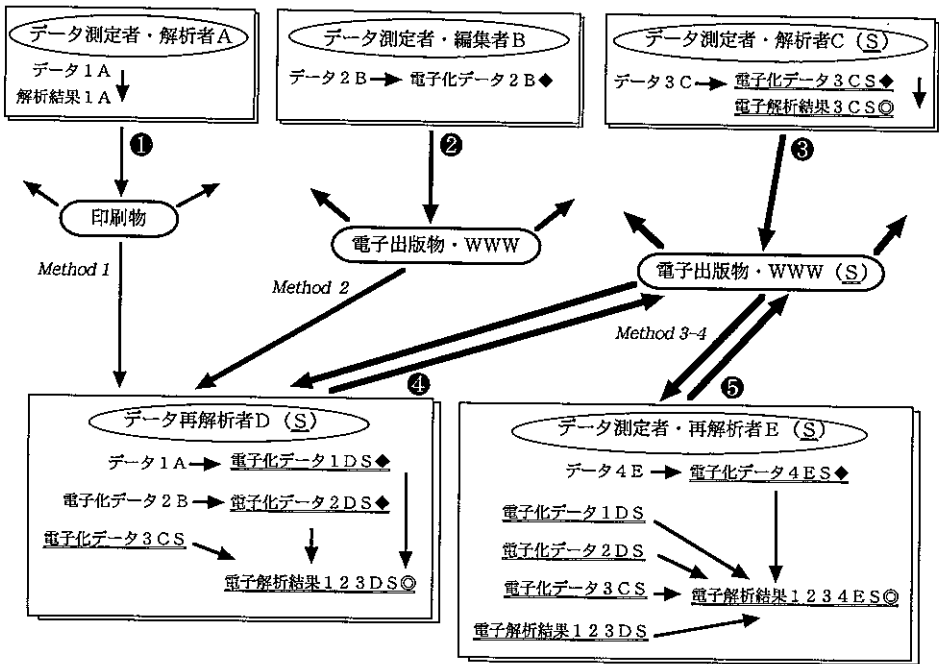
第3は、既存の空間2次元GISソフトと他の各種ソフトとを、様々な工夫により上手く組み合わせで対応するという進め方である。基本的には、各種の空間3次元データを、多層(多数レイヤー)の空間2次元データとして、既存の2次元GISを用いて処理を行う。このため、複雑な空間3次元データについては、あらかじめ高機能の3次元数値解析・可視化ソフトなどで前処理を行い、オリジナルデータの集約結果～解析結果を多層の水平2次元データ化する作業が必要となる。また、後述するように、坑井データについては1次元垂直データとして別に取り扱い、多層の2次元データシートに融合化する作業が必要となる。

よりよい組合せは、恐らく第1の将来の3次元GISの開発・利用化の行方を睨みつつ、また第2の現状での3次元GISの能力・適合性などを試しつつ、当面第3の既存の2次元GISを中心に各種ソフトも利用して具体的な作業を進め、今後の展開に応じて円滑に3次元GISに移行するというであろう。筆者らはこの姿勢であるが、現実的な検討を行う本説では第3の進め方を重視せざるを得ない。

空間2次元GISソフトについても、インターネット利用技術などを含めて現在急激に発展・変化しており、本計画第1期の終了時点およびそれ以降の状況について予測することが難しい。また、現状のGISソフトは、各々が内部のデータ管理方法に独自性を持ち、互換性が低い。したがって、第1期の実施に当たっては、特定の高価な汎用GISソフトを選定し全面的に依存するのではなく、汎用性が高い表計算ソフトなども含めた各種のソフトの組合せ(第4図参照)により、多種多様なデータの変換・解析・表示などを柔軟に試みて知見を積み重ねることが、第2期の充実化に向けて望ましいと思われる。

6.2 多種多様なデータの整備方法

前述したように、日本の固体地球科学・工学領域において様々な機関により多原理・多種類・多量の地理情報が取得・蓄積されているが、現状では各種のデータは学術～一般のGIS利用向けにまだ十分に整備(電子化・DB化・公開化)されていない



第8図 地理情報の幅広い利用に向けた電子データの規格化・標準化の重要性の概念図. データ・解析結果に付属する数字はデータの種類の違いを, 英字は測定者・編集者・解析者の違いを示し, Sは標準化されたフォーマットによることを示す. ①~⑤は時系列で, ◆はデータの電子化およびフォーマット変換作業を, ◎は電子解析作業を示す. Method (方法) 1~4は本文参照.

い. 今後, 各種の電子データが急速に整備されて, 領域全体でGISを基盤とした幅広いデータの相互利用が進み, より総合的で高度な研究~応用が進むことが期待される. 例えば, 地殻の3次元の温度構造と密接に関係すると考えられる震源分布, 地震波速度異常分布, 比抵抗異常分布などの3次元地理情報 (例えば, 長谷川ほか, 1991; 木村・吉田, 1998; 橋本ほか, 1999; 玉生ほか, 2000) は, GISを基盤としてさらに他のデータを加えての総合的な利用が可能となれば, 地下浅部~深部の地熱資源評価に大きく寄与することが期待される (例えば, 茂野, 2000) (第7図参照).

多種多様な地理情報をGISを用いて効率的に処理するためには, 電子データフォーマットの規格化・標準化が非常に重要である. 第8図には, 多種多様なデータの流通の形式~電子化の方法を4つ (Method 1, 2, 3, 4) に分類し, 規格化・標準化の重要性を概念的に示した.

第1は, データの利用者が, 既存の印刷物などから個々に必要な電子データを作成する場合である. しかし, この方法は作業負担が大きく (例えば,

野呂, 1997), その電子データが第三者に利用可能とならなければ重複作業を生じて社会的に不経済である.

第2は, データの測定者・編集者が個別に何らかの形式で, 最もありそうな場合としては自己あるいはその分野の専門家が利用し易いと考えられる形式で, 電子データを作成・提供する場合である. この方法では, 電子データの入手や想定された形での閲覧・利用は容易になるが, 他分野のGIS利用者のデータ解析などの目的では, データフォーマットの変換などに労力を要する.

第3は, 多種多様な地理情報について, 何らかの機関が電子データフォーマットの総合的な規格化・標準化を行い, それに沿って各種データの測定者・編集者が電子データを作成・公開化することである. しかし, この方法については, 新たな規格・標準の制定作業に労力・時間を要するとともに, その規格・標準が実用的でありまた実際に広く受け入れられるか否かという点が問題となる. なお, 電子地理情報の標準化については, 国際的には国際標準化機構 (ISO), 国内では日本工業標

準調査会(日本工業規格, JIS)などにより体系的に検討されつつあり, またアメリカ合衆国では連邦地理データ委員会(FGDC)により定められたSDTS(Spatial Data Transfer Standard)などが広がりつつあるが, それらの日本での一般利用化には今後かなりの時間を要すると思われるのでここでは触れない。

第4は, 現在広範に利用されているデファクト的な規格・基準で, 普遍性・汎用性を持つ比較的簡単なデータフォーマットに沿って, 個々のデータの測定者・編集者・利用者などが電子化・公開化を独立的に進めることである。

この第4の方法として, ここで筆者らが想定している現実的な電子データフォーマットは, 前述した国土地理院の数値地図(標高)の体系的な水平2次元メッシュ系(1km#, 250m#, 50m#)の共通的なファイルフォーマットである(第3表)。なお, より細かくは10m#(一部使用されている), またより粗くは10km#(第2次地域区画メッシュに相当)の同様規格のフォーマットの有用性が高いと考えられる。これらを用いれば, 標高・地形データとの関連性を始め, その他多くの種類のデータとの関連性(第2表参照)が, 多数レイヤーの重ね表示や演算結果として容易に処理できることとなる。また, 前述したメッシュ形式の長所から, 条件付きの対象空間の抽出, 測線図-垂直断面図の作成(特に, N-S, E-W, NE-SW, NW-SE方向)なども容易である。さらに, 高価な汎用GISソフトのみならず, 低価格の各種の特定用GIS, 表計算, 数値解析, 可視化, グラフィックスなどのソフトを組み合わせて, 多様なまた高度な解析・表示を行うことが出来る。

一方, この方法の問題として, 次のような点が挙げられる。(1) 上記フォーマット系の各メッシュ点の属性データの表現は, 5桁の整数(I5)で1成分に限られており(国土地理院・日本地図センター, 1998), スカラーの場合でも実数・対数の表現, 桁数の制限などについて工夫を要する。(2) 属性データが多成分〜ベクトルの場合には, スカラー1成分に集約化したり, 多数枚のファイルを用いたり, あるいはメッシュ点の位置データを活かした表形式のデータフォーマットを援用するなどの工夫が必要である。(3) 上記メッシュ系の座標系では, 緯度が高くなるに従って経線方向の長さがより長く計算・表示さ

れるため, 解析によっては角度, 勾配, 面積などの補正処理が必要な場合がある。(4) 2002年に日本測地系から世界測地系への移行があり, 今後体系的に若干の緯経度補正が必要となる。(5) 上記フォーマット系は日本独自の規格であり, 国際的な作業を行う場合には体系的な変換処理を行わなければならない可能性が高い。

この方法でも, 各種の測定データ〜解析結果を何らかの手段で上記のメッシュフォーマット系に合わせて, 一度は電子数値化することが必要であるが, その後はこの労力の恩恵を多数の利用者が容易に末永く受けることができる(ただし, オリジナルデータの所有権・著作権の問題は残る場合があるので注意を要する)。さらに, これらのデータを利用した各種の解析・表示結果を同一のフォーマット系で公開することにより, 第三者によるその再検討・再利用も容易に可能となることが期待される。なお, 上記のファイルフォーマット系のヘッダー部には, 英数字80字分のコメント欄があり(国土地理院・日本地図センター, 1998), ここにデータの種類, 内容, 作成者・編集者, 注釈などの記入が可能であることを付記する。

このような長所から, 筆者らは今回の計画の遂行に当たっては, この第4の方法を選ぶこととした。また, 日本の多くの固体地球科学・工学分野の研究者・技術者の方々にも, この方法による各種データの電子公開化を一つの現実的な案として提案し, その有益性の理解と様々な利用が広がることを期待したい。

最後に, 多層2次元メッシュ形式のデータの管理・処理では, 目的に応じて適当なグリッド間隔・レイヤー間隔の選択が重要であることを付記する。これらが粗すぎる場合には対象の把握が困難であり, 細かすぎる場合にはデータの管理・処理に多大の労力・時間を要する。理想的には, 階層化した空間スケールを用いたデータの管理・処理が望まれる。地熱資源については, 例えば従来開発されている貯留層は, 概略水平的には0.3~1.0km²程度以上, 垂直的には0.5~1.0km程度以上の規模をもっており(温度異常の規模はより大きい場合が多い), これを考慮した水平2次元グリッド間隔, 垂直1次元レイヤー間隔を持つ必要がある。

6.3 坑井データの処理方法

坑井掘削により得られるデータは、直接的な地下3次元の地理情報として非常に重要である。このため各種坑井データの電子化・公開化の進展が望まれるが、基本的に以下のような特殊性があり、GISソフトでの利用に向けたデータの規格化・標準化および整備が容易ではない。(1) 地表調査とその解析の結果が、地表面～地下の水平2次元データとして得られる場合が多いのに対して、坑井データは基本的にこれに直交する垂直1次元データである。(2) 坑井掘削・測定の様子は目的に応じて多種多様であり、掘削、検層、コア(岩芯)観察・分析、観測(モニタリング)などの各データのそれぞれに多項目・多内容がある。特に、コアの観察データは複雑で、規格化・標準化が困難である。(3) 坑井掘削は地表調査に比較して高価なため、深度1km以上の坑井掘削地点の分布は疎らでありまた遍在している。また、企業秘密などによりデータの公表が制約される場合も多い。

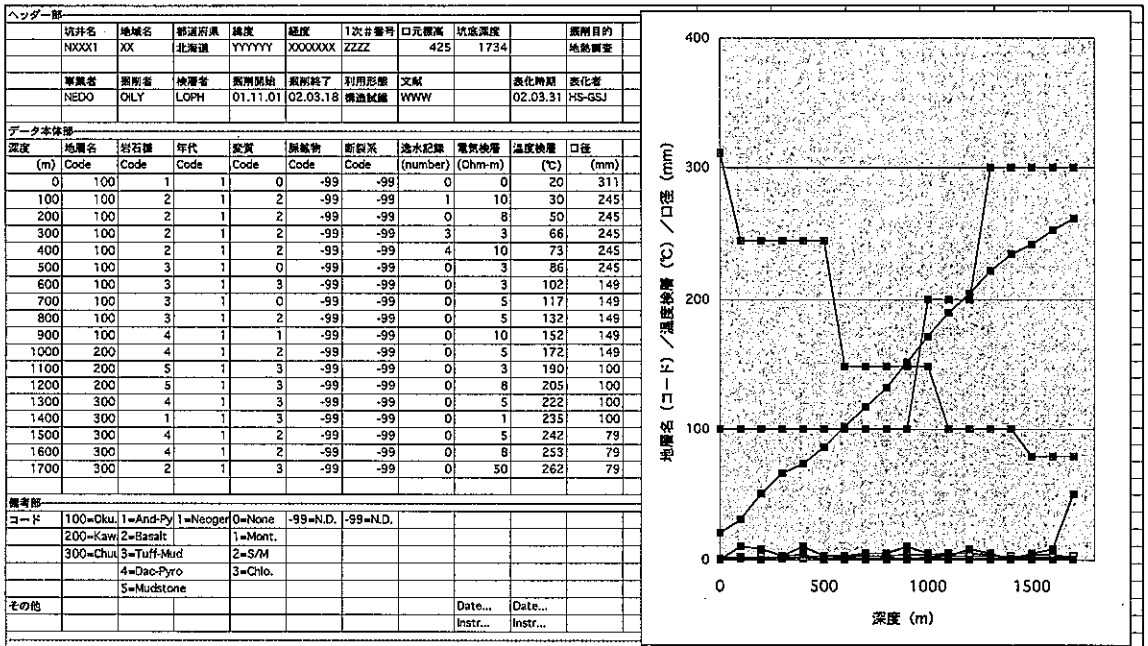
残念ながら、坑井データについて広く受け入れられている体系的な規格・標準は、日本では存在していない。国による様々な目的の一連の坑井掘削調査(地下資源の探査・評価、土木建設の地盤調査・評価、地震予知・災害防止の調査・観測など)では、それぞれの規格・仕様によって掘削、検層、コア測定、モニタリングなどの記録が整理され一部データが公表されているが、体系的な電子化・公開化は行われていない。一方、独自の坑井データの管理・処理・報告用のソフトが開発・市販されており、民間の地盤調査などで一部利用されているようであるが、各々固有の規格で互換性に乏しいようである。最近土木建設分野では、(社)全国地質調査業協会連絡会(全地連)を核として坑井調査データを含めて地質調査データの体系的な規格化・電子化が進められつつある(例えば、土屋・藤城, 2001; 原, 2001; 中田, 2001)が、土木建設分野の独自性が強いと、これらの規格の地下資源分野などでの利用は難しいように思われる。

地質調査所では、前述した地熱情報データベース・システム(SIGMA)の構築時に体系的な坑井調査データの電子化フォーマットが提案され(矢野・村岡, 1986)、当時のNEDOの地熱調査井データなどが電子数値化されて比較表示、統計解析などが

行われた(例えば、矢野ほか, 1989; 須田・矢野, 1991)が、その後は利用が広がっていない。しかし、地質調査総合センターでは、将来の地質情報データセンター構想とも関連して各種坑井データの電子整備が進められる機運にあり、電子フォーマットの規格化・標準化について新たな展開が期待される。

さて、今回のGISを利用した地熱資源の評価作業を進めるに当たっては、多種多様な坑井データについて具体的な処理方法を考える必要がある。ここでは、以下(1)～(7)のような柔軟性が高く、また作業負担が小さいやり方を、当面の暫定的な方法として提案したい。このような方法により蓄積された坑井データについては、将来体系的な規格化・標準化が進められる場合には、ある程度一括的な変換処理により比較的容易にそれに整合的な電子DB化が行えることが期待される。

- (1) 紙ベースあるいは電子画像ベース(PDF形式など)で公表されている各種の坑井データ、特に深度1km以上のものについて、共通の電子画像ベースで編集・集積する。
- (2) これらのデータの中で、特に重要性が高い坑井および報告項目について、表計算ソフトを用いて垂直1次元での簡易的な整理・電子数値化を進める(第9図参照)。すでに電子数値化されたデータが存在する場合は、その変換利用を考慮する。
- (3) 各坑井の坑井名、事業者名、掘削位置、坑底深度などについては、標準化・規格化に対応し易い形式で、ヘッダー部に記述する。
- (4) データ本体部として、各坑井の深度(表計算シートの縦方向)のデータサンプリング間隔は、規格として0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100, 500, 1000mを単位とし、当面の目的に応じて適当なものを等間隔で使用するが、条件が許せば深度を階層化したフォーマットを用いる。
- (5) データ本体部として、属性データ項目(表計算シートの横方向)については、例えば第9図に示したものが挙げられるが、上述したように非常に多種多様で規格化・標準化が困難なため、当面の目的に応じてその内容・規格を自由とする。なお、例えば口径、ケーシング仕様、傾斜掘の偏距などの情報についても、データ項目



第9図 表計算ソフトを利用した坑井の掘削・検層・岩芯(コア)・測定(モニタリング)データの簡易的な電子化・規格化の
 試み。NEDO地熱開発促進調査の1調査井を例とし、表計算ソフトとしてMicrosoft社のExcelを使用した。

として処理することが出来る。各属性データの分類基準、測定条件などは、同一列の下方の備考欄に整理して記述する。

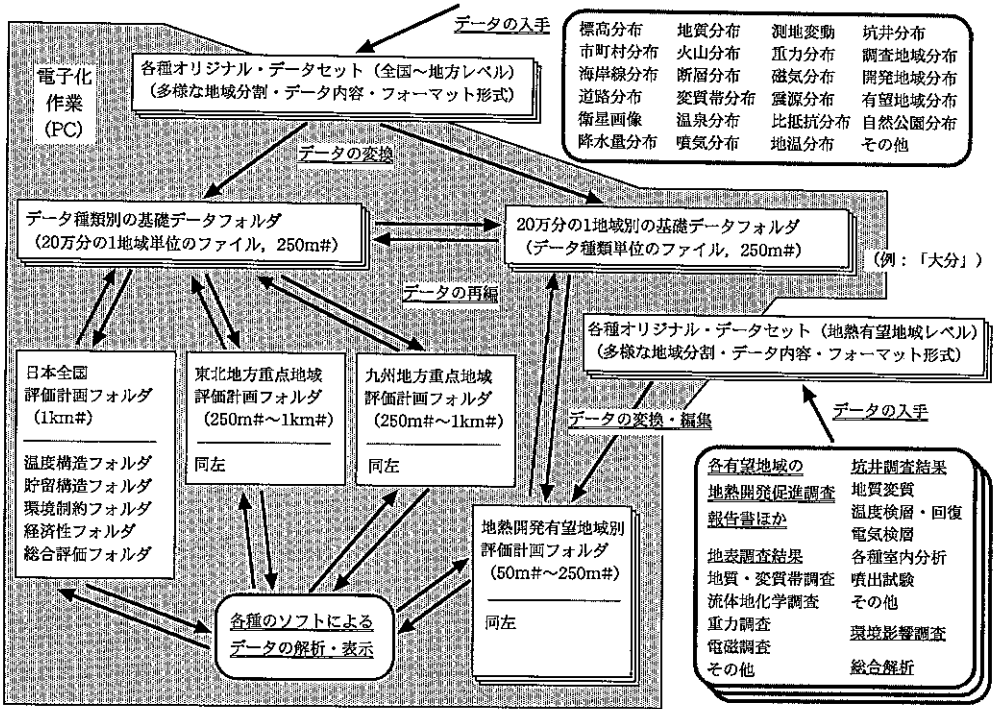
- (6) 各坑井の各種データの検討、坑井間のデータの比較、簡易的な垂直断面図の作成、深度階層化フォーマットの処理、データフォーマットの変換などは、表計算ソフトに付随する各種の作図機能、マクロ言語～プログラム言語などを利用することにより効率的に行う(第9図参照)。なお、データを適当にフォーマット変換することにより、前述した市販の坑井用ソフトなどに移して、データの解析・表示を行うことも可能であろう。
- (7) 坑井の垂直1次元データを多層水平2次元メッシュデータへ組み込む作業は、データの利用者が適当な方法により行う。多数の坑井データを利用することにより、様々なデータ・解析結果について、深度別の水平2次元メッシュデータの編集が可能になると考えられる。

上記(1)～(7)の過程を通じて編集・公開化された坑井に係わる垂直1次元、多層水平2次元の電子地理情報は、地熱資源の評価のみならず様々な目的の解析・表示に利用可能な基礎データとして、

不十分なながらも歓迎されることが期待される。従来の筆者らの若干の経験から、坑井データのように複雑なデータのDB化とその利用について危惧される点は、幅広い共用利用化の目的で非常に多項目で詳細なものを設計・構築すると、そのシステムの実体化が困難であるのみならず、データの入力・検索・処理などに労力・時間・予算を要し、さらに外部へのデータ提供やシステムの更新が難しい非常に「重たい」ものになりがちなことである。今回の上記の提案は、一つの柔軟で現実的な方法として、今後の検討・試行の価値があるように思われる。

6.4 データファイルの管理方法

上述した案に沿って地熱資源の評価を体系的に進めるに当たっては、多種多様多量の空間2～3次元データを管理するために、何らかの効率的なデータ管理システムの導入が必要と考えられる。しかし、今回の試行段階の第1期にはその具体化は行わず、OSが持つ基本的なデータファイル～フォルダの管理・検索などの機能を利用する予定である。現状でのデータファイル管理方法の素案を第10図に示し、以下(1)～(4)に若干説明する。なお、全データは解析の中間～最終結果を含めて、専用パ

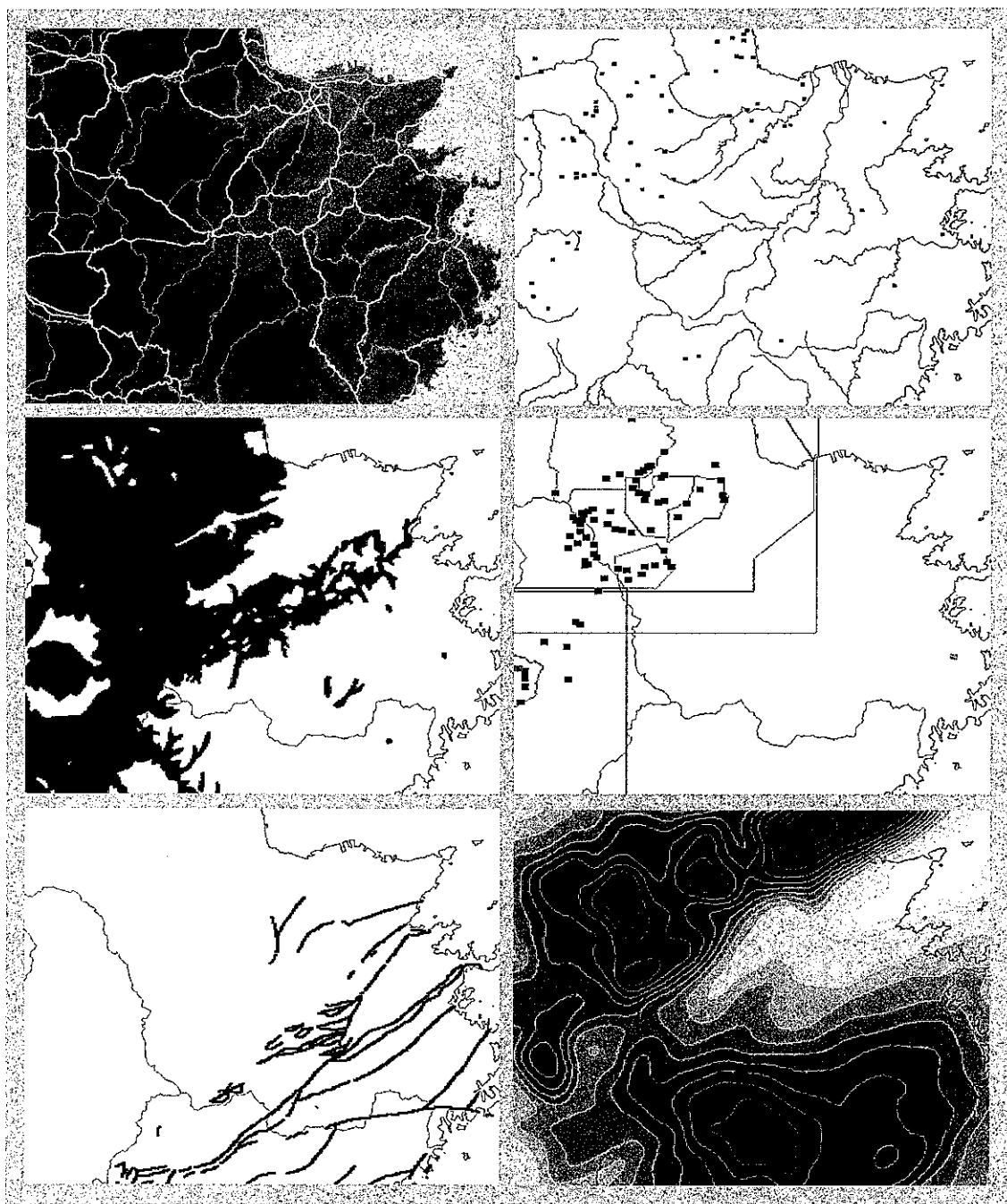


第10図 GISを利用した地熱資源の評価における各種データ(全国レベル～地熱開発有望地域レベル)の管理方法(案)の概念図。

ソコンの大容量ハードディスクおよび補助記憶装置上での管理を想定している。

- (1) 日本全国レベルの必要不可欠なデータについては、統一的に前述した250m#(～1km#)形式の水平2次元メッシュ系ファイル(20万分の1地勢図単位)として整理し、2種類の管理を行う。すなわち、1)データ種類別に全国をまとめた整理フォルダ、および2)20万分の1地勢図別に全データ種類をまとめた整理フォルダの2種類を併用して行う。空間3次元データを多層水平2次元データとして表現する必要がある場合は、基本的に地表面および海水準上2, 1, 0, -1, -2, -3 km(以下、より深部も同様)で整理する。
- (2) 全国～地方レベルの解析では、上記1)の整理フォルダから必要なデータを地域範囲で抽出・合体化し、地域別の階層化した評価計画フォルダを用いてデータファイル、評価解析結果ファイルなどの管理を行う。
- (3) 地熱開発有望地域(地熱発電開発地域～地熱開発促進調査地域(NEDO))レベルのより詳細

- な重要な調査データ(面積が10～数100km²程度)については、重要な調査項目の測定データ・解析結果について必要に応じて電子数値化し、50m#(～250m#)の水平2次元メッシュ系ファイルとして整理する(坑井調査データは後述)。同一地域の上記(1)の2)の250m#のデータと合わせて、個々の地熱開発有望地域とその周辺を単位とした階層化した評価計画フォルダを用いてデータファイル、評価解析結果ファイルなどの管理を行う。空間3次元データを多層水平2次元データとして表現する必要がある場合は、地表面下0, -1, -2, -3, -4kmとし、必要に応じて標高データを用いて海水準下データとするほか、深度の細分化(例えば500m, 250m, 50m間隔)やより深部のファイル化を行う。
- (4) 上記(3)の地域で掘削された地熱調査井(特に地熱開発促進調査による)については、6.3で述べたように表計算ソフトを利用した簡易的な垂直1次元フォーマットによる各種の重要なデータの電子化と管理を行う。この垂直1次元データは、当面上記(3)の多層水平2次元データ



第11図 20万分の1地勢図「大分」についての各種地理情報の編集ファイル(250m#フォーマットへ変換)の出力図例。以下の[]内はオリジナルデータの概要を示す。各データのフォーマット変換には自作のFORTRANプログラムを、各編集図の作成には日本地図センターのBird's View Proを、図面編集にはAdobe社のPhotoshopを使用した。なお各図では、日本地図センターのJMCマップのベクトルデータを用いて、海岸線・県境・道路・河川なども示した。(左上)地形陰影図[国土院、数値地図(標高), 250m#]。(左中)第四紀火山岩類分布図[地質調査所(1995), 250m#(圧縮化)]。(左下)断層分布図[地質調査所(1995), 線ベクトル(大部分は活断層ではない)]。(右上)温泉温度分布図[地質調査所地熱資源図作成グループ(2000), 点ベクトル]。(右中)地熱調査地域分布図[地質調査所地熱資源図作成グループ(2000), 線ベクトル]と地温勾配分布図[田中ほか(1999), 点ベクトル(印刷物中の付表)]。(右下)ブーゲー重力異常分布図[地質調査所(2000), 1km#(多円錐図法)]。

に組み込む形で整理し、解析・表示に使用する。

以上の各種のデータを用いた様々な重層的な解析結果(例えば、深度別の水平2次元の推定温度分布、同じく推定される地熱資源型区分の分布)も、同様のフォーマットのファイル・フォルダ形式でデータの管理を行う。なお、実際の具体的なデータ管理の方法は、解析・表示に利用する何らかのGISソフトおよびその他の各種ソフトの種類・組み合わせによって、色々な変化を生じる場合があると考えられる。

ここでは、20万分の1地勢図「大分」の範囲について、公開されている各種の電子地理情報を自作のFORTRANプログラムにより同一の250m#形式に変換し、比較的low価格の特定用のGISソフト(Bird's View)によって試験的に表示したものを、参考例として第11図にまとめた。

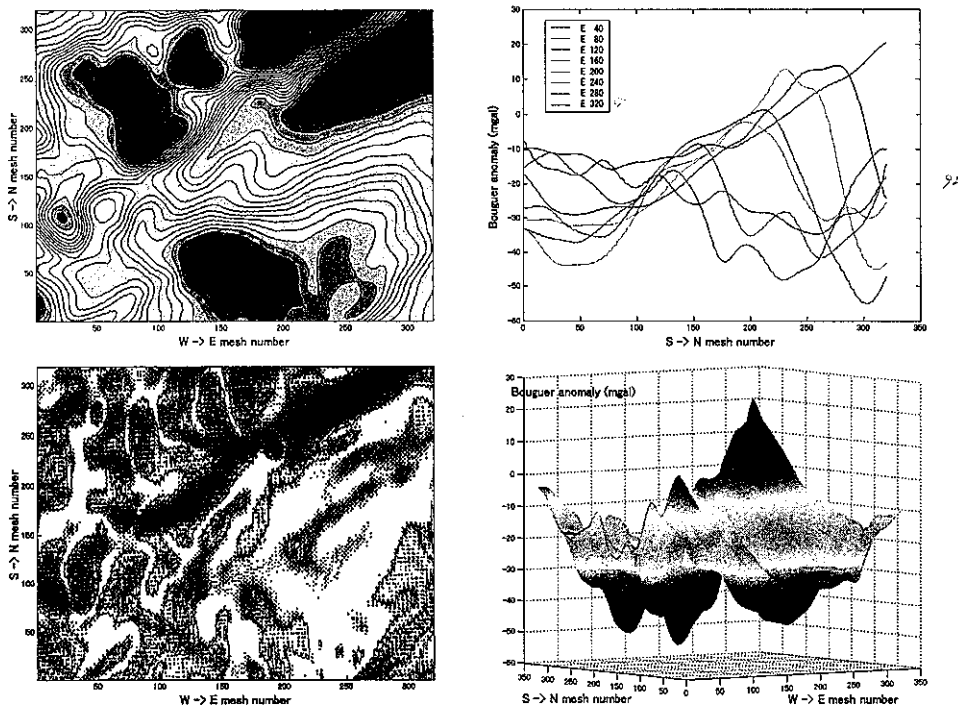
また、同範囲について、多円錐図法による1kmメッシュのブーゲー重力異常データ(地質調査所、

2000)を自作のFORTRANプログラムを用いて上記の250m#形式に変換し、市販の数値解析・可視化ソフト(MatLab)を用いて、傾斜絶対値の平面分布表示、平行測線に沿った分布値の比較表示、空間2.5次元表示などを試みた例を、参考として第12図に示した。

7. まとめ

日本に豊富な各種の地熱資源について、長期的・総合的な探査・開発・保全の最適化に資する目的で、筆者らは「GISを利用した地熱資源の評価(アセスメント)の研究」を進めている。本説では、中期計画第1期(2001-04年度)の初年度のとりまとめとして、茂野(2000)の基礎的検討を土台として、GISを利用した発展的・公開的な評価システムの試案を述べた。

地熱資源の評価については、地下浅部~深部の温度構造および貯留構造を推定する目的で、空間



第12図 20万分の1地勢図「大分」のブーゲー重力異常データ(地質調査所(2000))を250m#フォーマットへ変換の各種処理図例。データ(岩石密度 = 2.67g/cm³)の各種処理・表示には数値処理・可視化ソフトとしてMathWorks社のMatLabを、図面編集にはAdobe社のPhotoshopを使用した(原図カラー)。(左上)ブーゲー重力異常値の等値線平面図。(左下)ブーゲー重力異常の勾配絶対値の等値線平面図。(右上)N-S走向の等間隔測線に沿って比較したブーゲー重力異常値分布。(右下)地勢図のSW端からNE方向を見たブーゲー重力異常値分布の2.5次元表示。

2～3次元の多種多様なデータを編集・管理し、総合的に解析・表示するという困難な作業が必要である。そこで本説では、特に問題になると考えられる4点について検討し、以下のように戦略的な一時的な解決策を整理した。

- (1) ソフトについては、将来技術である空間3次元GISソフトや各種の制約を持つ市販の特定の汎用GISソフトの使用に限定せずに、基本的な解析・表示・取りまとめなどの処理を中心に考えて、一般的な各種GIS、表計算、数値処理、可視化、プログラム開発、グラフィックスなどの多様なソフトの組合せ利用により、データ管理・処理作業に高い自由度と継続性を確保する。
- (2) データファイルのフォーマットの規格化・標準化を重視し、水平的には国土地理院の数値情報(標高)の2次元メッシュファイル規格系(1km#, 250m#, 50m#)、垂直的には多数レイヤーの積み重ね(1km～250m間隔)を用いて、空間2～3次元の多種多様なデータについてメッシュ形式で整備化・利用化を進める。
- (3) 各種の深部坑井掘削により蓄積されている多種多様な貴重なデータについては、当面試行的に表計算ソフトを利用した垂直1次元の緩やかな簡易規格フォーマットによって整理・電子数値化し、上記の多層水平2次元メッシュ系に組み込んで利用する。
- (4) 各種データの管理については当面OSの機能を用い、データ種別基礎データ、20万分の1地域別基礎データ、全国～広域地域別評価計画、地熱開発有望地域別評価計画などのフォルダの組み合わせを用いて体系的・階層的に行う。

2002-03年度には、上記の案に沿って代表的な広域地熱地域および地熱開発有望地域について、温度構造・貯留構造の推定を中心に地熱資源評価のケーススタディーを行い、手法の有効性・問題点の検討を進める予定である。また、2004年度には、地表環境制約や開発経済性などを含めて、地熱資源評価の試行のとりまとめを行いたい。

多種多様な地球科学・工学的データ、特に基礎的・基盤的地理情報の電子化・公開化は、労力・時間・予算を要する作業であるが、日本においても様々な機関の努力により、今後5年程度を目途に急速に進展することが期待されている。本計画の第2

期では、このような電子数値化・公開化された地理情報を最大限活用することにより、今後第1期に得られる手法・知見を発展的基盤として、全国～個別地域の地熱資源の評価(アセスメント)を本格的に進め、その成果の電子公開化を行いたい。

8. おわりに

ここで、アメリカ合衆国の2人のGIS熟達者の言葉を雑誌記事から引用して、GIS初心者著述による本説の内容を補強し、締め括りとした。

ターナー(1999)「使いやすい形式でしかも無料：GISを使う時の大きな問題の1つは、正しいデータを正しいフォーマットでタイムリーに入手することだ。多くのプロジェクトに必要なデータをゼロからつくる(データのデジタル化と編集)には時間がかかりすぎる。プロジェクトの日程では、このような作業を行う時間がない。こういったケースでは、選択肢は限られてくる。GISのサポートなしに進めるか、すでにデジタル化されたデータを使うかだ。そのため、幅広く役立つデジタルデータが公開されることは、いつでも大歓迎だ・・・」(注釈：「日程・時間」には「予算・人材」も加える必要があるのではないだろうか。)

ドブソン(2001)「『重たい』データとの格闘：・・・著者がはじめて地理情報科学に携わった1970年代の半ば頃は、特定地域のモデリングといえば、それぞれのメッシュ毎に限られたパラメータ値を設定して計算を行うということの意味していた。現状の地球規模のモデリングを大まかにいえば70年代の特定地域のモデリングとまったく同じような状況だということができる。その原因は利用できるデータにも情報処理の能力にも限界があるためである。大半の研究者達はここで説明したような非常に「重たい」データの分析にはもううんざりしているのだ。しかし、かれらの望みは現状の地球規模のモデリングが位置しているレベルを今日の特定地域モデリングのレベルに近づけることなのである・・・」(注釈：「地球規模の(地表)モデリング」は、「日本の地下実態の3次元把握」と読み換えられるのではないだろうか。)

最後に、本説で述べたように多種多様な地球科学・工学的なデータ・解析結果が、国土地理院の

数値情報(標高)1km#, 250m#, 50m#(～10m#)メッシュフォーマット規格系(あるいはそれに容易に変換可能な形式)で電子化・公開化されて、様々な解析・表示に容易に利用可能となることが、GISの一つの中核とした多様な地球科学・工学分野の総合的な発展において、戦略的一步として重要ではないかという点を強調したい。

地球科学・工学的なデータ・解析結果については、所有権(著作権)・取得費用負担・秘密内容などの問題があるが、少なくとも上記の全国的～広域的な1km#(～250m#)水準については、日本国内の資源評価-環境保全-災害防止などの基盤的・総合的な進展への寄与が大きいことから、各関係機関、各々の研究者・技術者により電子データの形で無料～低価格で公開化されることを要望したい。

謝辞:地質調査所において、1970年代に地熱地域の地球化学的な調査・研究を巡って、コンピュータによるデータの管理・処理などの有効性・問題点・将来性について啓発して頂いた安藤直行・比留川貴・角 清愛などの方々、および1980年代に「地熱情報データベース・システム(SIGMA)」の研究・開発を巡って、「GIS」の理念・困難性・発展性などについて啓発して頂いた小川克郎・花岡尚之などの方々に感謝の意を表します。本説を取りまとめるに当たっては、地熱資源研究グループ長の玉生志郎などの方々から貴重なご意見を頂きました。記して感謝します。

文 献

- 阿島秀司(2001): NEDO技術情報データベースの紹介。地熱エネルギー, 26, 447-450.
- 地質調査所(1986): 地熱情報データベース・システムの研究。地調報告, no. 265, 538p.
- 地質調査所(1991): 日本の地熱資源評価に関する研究。地調報告, no. 275, 352p.
- 地質調査所(1995): 100万分の1日本地質図第3版CD-ROM版。数値地質図, G-1.
- 地質調査所(2000): 日本重力CD-ROM。数値地質図, P-2.
- 地質調査所地熱資源図作成グループ(2000): 東北・九州地熱資源図(CD-ROM暫定版)。
- ドブソン, ジェリー(2001): 進歩を遂げる地球規模のデータ整備。GIS Japan, no. 2, 58-61.
- 原 弘(2001): 地質調査業界の提案する地質図標準。日本情報地質学会シンポジウム2001講演論文集, インターネット時代の地質図標準, I1-14.
- 花岡尚之(1997): これからの社会における地質情報の蓄積と流通。第12回地質調査所研究講演会「地質情報とこれからの社会」資料, 日本産業技術振興協会, 1-3.
- 長谷川昭・趙 大鷗・山本 明・堀内茂木(1991): 地震波からみた東北日本の火山の深部構造と内陸地震の発生機構。火山, 36, 197-210.
- 橋本武志・網田和宏・馬渡秀夫・田中良和・神田 径・下泉政志・上嶋 誠・笹井洋一(1999): 九州地域におけるネットワークMT観測(続報)。Conductivity Anomaly研究会1999年論文集, 29-37.
- 比留川貴・安藤直行・角 清愛(1977): 日本の主要地熱地域の熱水の化学組成。地調報告, no. 257, 934p.
- 比留川貴・安藤直行・角 清愛(1981): 日本の主要地熱地域の熱水の化学組成。その2。地調報告, no. 262, 403p.
- 比留川貴・高橋正明・茂野 博(1988): 日本の主要地熱地域の熱水に適用した地球化学温度計。地調報告, no. 267, 754p.
- Juppenlatz, M. and Tian, X. (1996): Geographic Information Systems and Remote Sensing. McGraw-Hill, 145p.
- 川端幸蔵(2000): GISデータベースの整備とその扱い方。農林水産省森林総合研究所海外森林環境変動研究チーム, 重点研究支援協力員成果報告書(2), 55p.
- 木戸ゆかり・鶴 哲郎・朴 進午・東方外志彦・金田義行・河野芳輝(1999): フロンティアデータベースシステムの構築とその利用。情報地質, 10, 155-167.
- 木村純一・吉田武義(1998): 乗鞍火山列下のマグマ供給系: その地殻構造形成にはたす役割。Conductivity Anomaly研究会1998年論文集, 175-191.
- 国土地理院・日本地図センター(1998): 数値地図ユーザーズガイド(第2版補訂版)。471+29p.
- Kubo, S. (1991): The development of GIS in Japan. In Maguire, D. J., Goodchild, M. F. and Rhind, D. W. ed. Geographical Information Systems, Principles and Applications. Longman Scientific and Technical, vol. 2, 47-56.
- 雷 興林・長谷川功(2000): 地質調査所における地質情報データベースの作成と公開。情報地質, 11, 167-177.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J. and Rhind, D. W. ed. (1999): Geographical Information Systems, 2nd ed. John Wiley and Sons, 2 vols., 1101p.
- Maguire, D. J., Goodchild, M. F. and Rhind, D. W. ed. (1991): Geographical Information Systems, Principles and Applications. Longman Scientific and Technical, 2 vols., 649+447p.
- 村上 裕(1999): 地質情報とGISの現状と展望。地質と調査, '99, no. 3, 8-15.
- 村上 裕(2000): 三次元地下構造解析・表示システムの開発。物理探査学会第103回学術講演会論文集, 234-237.
- 村上 裕・古宇田亮一(2001): 地質情報統合利用システムの開発。資源・素材学会2001年春季大会講演集, 26-29.
- 村上 裕(2002): 産総研の地質情報データセンター構想。地質調査総合センター第5回都市地質問題講演会講演要旨集, 27-31.
- 中村和郎・寄藤 昴・村山祐司編(1998): 地理情報システムを学ぶ。古今書院, 212p.
- 中田文雄(2001): 地質企業活動を巡る地質データ標準。日本情報地質学会シンポジウム2001講演論文集, インターネット時代の地質図標準, 51-54.
- 日本建設情報総合センター(2001): GISデータブック2001-日本の地理情報システムの紹介。567p.
- 日本地熱調査会(2001): わが国の地熱発電の動向, 2001年版, 100p.
- 日本列島の地質編集委員会(1996): コンピュータグラフィックス日本列

- 島の地質 (CD-ROM付)。丸善, 139p.
- 21世紀に向けた発電技術懇談会地熱部会 (1996): 中間報告, 69p.
- 野上道男・岡部篤行・貞広幸雄・隈元 崇・西川 治 (2001): 地理情報学入門。東京大学出版会, 163p.
- 野呂文春 (1997): デジタル地質図とデジタル地形図の作成。地調報告, no. 283, 102p.
- 太田充恒・今井 登 (2001): GIS (地理情報システム) を用いた元素濃度分布図の統計解析。2001年度日本地球化学会第48回年会講演要旨集, 221.
- 大塚尚寛・高橋光徳・斎藤 貴 (2001): GISを利用した骨材資源ポテンシャル評価システム。資源と素材, 117, 556-562.
- Pan, G. and Harris, D. P. (2000): Information Synthesis for Mineral Exploration. Oxford Univ. Press, 461p.
- Plewe, B. (1997) (岡部篤行・東明佐久良・那須 充訳 (2001)): インターネットGIS。古今書院, 217p.
- Raper, J. F. and Kelk, B. (1991): Three-dimensional GIS. In Maguire, D. J., Goodchild, M. F. and Rhind, D. W. ed. Geographical Information Systems, Principles and Applications. Longman Scientific and Technical, vol. 1, 299-317.
- 阪口圭一・高橋正明 (2002): 東北・九州地熱資源図 (CD-ROM版)。数値地質図, GT-1, 地質調査総合センター。
- 茂野 博 (2000): 深部地熱資源の探査・開発の今後の進展に向けて。地調報告, no. 284, 313-336.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (1989): 地熱資源量の評価に関する調査, 194p.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2001): 地熱開発の現状, 18p.
- Star, J. and Estes, J. (1990) (岡部篤行・貞広幸雄・今井 修訳 (1992)): 入門地理情報システム。共立出版, 235p.
- 須田芳朗・矢野雄策 (1991): 日本の地熱調査における坑井データ, その2。検層データおよび地質柱状図データ。地調報告, no. 273, 842p.
- 玉生志郎・高橋正明・村田泰幸・駒沢正夫・金原啓司・川村政和・山口文春 (2000): 東北日本の深部地熱資源有望地域-地熱資源図に基づいて-。地調報告, no. 284, 261-276.
- ターナー, キース (1999): 米国地質調査所のCD-ROM データ集石油・ガスのデータセットを無料提供。GIS WORLD 日本版, no. 1, 60-61.
- 田中明子・矢野雄策・笹田政克・大久保泰邦・梅田浩司・中野昇・秋田藤夫 (1999): 坑井の温度データによる日本の地温勾配値のコンパイル。地調月報, 50, 457-487.
- 土屋彰義・藤城泰行 (2001): 建設CALS/ECと地質調査成果の電子化。地質と調査, '01, no. 2, 2-9.
- 網木亮介 (1999): 地すべりとGIS。地質と調査, '99, no. 3, 16-22.
- United States Geological Survey (1975): Assessment of Geothermal Resources of the United States-1975. U.S.G.S. Circular, no. 726, 155p.
- United States Geological Survey (1978): Assessment of Geothermal Resources of the United States-1978. U.S.G.S. Circular, no. 790, 163p.
- 矢野桂司 (1999): 地理情報システムの世界。ニュートンプレス選書, 250p.
- 矢野雄策・村岡洋文 (1986): 坑井データベース・システム。地調報告, no. 265, 69-189.
- 矢野雄策・須田芳朗・玉生志郎 (1989): 日本の地熱調査における坑井データ, その1, コア測定データ-物性, 地質層序, 年代, 化学組成-。地調報告, no. 271, 832p.

GIS関係の情報源・クリアリングハウスなどのWWW-URLの一覧

1. 日本国内 (情報源など)
 - ・国土交通省 (GISホームページ)
http://www.mlit.go.jp/kokudokeikaku/gis/index.html
 - ・国土地理院 http://www.gsi.go.jp/
 - ・(財)日本地図センター http://www.jmc.or.jp/
 - ・東京大学空間情報科学研究センター
http://www.csis.u-tokyo.ac.jp/japanese/
 - ・日本地理情報システム学会 http://www.gisa.t.u-tokyo.ac.jp/
 - ・日本情報地質学会 http://www.jsgi.org/
 - ・国土空間データ基盤推進協議会 http://www.nsdipa.gr.jp/
 - ・地質調査総合センター
http://www.aist.go.jp/GSJ/HomePageJP.html
2. 日本国内 (クリアリングハウス, ダウンロードサービスなど)
 - ・電子政府の総合窓口 http://www.e-gov.go.jp/
 - ・国土交通省, 国土数値情報ダウンロードサービス
http://www.nla.go.jp/ksj/index.html
 - ・国土地理院, 地理情報クリアリングハウス・ゲートウェイ (分散検索サービス) http://zgate.gsi.go.jp/
 - ・東京大学空間情報科学研究センター, クリアリングハウス
http://fuchu.csis.u-tokyo.ac.jp/gcat/editQuery.do
 - ・新エネルギー・産業技術総合開発機構, データベースサービス
http://www.nedo.go.jp/database/index.html
 - ・国立環境研究所環境情報センター
http://www.nies.go.jp/joho/index.html
3. アメリカ合衆国 (情報源, クリアリングハウス, アトラスなど)
 - ・U. S. Federal Geographic Data Committee (National Spatial Data Infrastructure) http://www.fgdc.gov/
 - ・U. S. Geological Survey http://www.usgs.gov/
 - ・National Atlas of the United States http://www.nationalatlas.gov/
 - ・Cornell University (Building the Digital Earth)
http://atlas.geo.cornell.edu/
 - ・GEOPlace.com http://www.geoplace.com/default.asp
 - ・ESRI http://www.esri.com/
 - ・MicroImages http://www.microimages.com/

SHIGENO Hiroshi and SAKAGUCHI Keiichi (2002): New Program of Japanese Geothermal Resources Assessment using GIS.

< 受付: 2002年3月20日 >