

I-12 地盤沈下災害を対象とした社会基盤被害想定マップの構築

A hazard map for estimating infrastructure damage caused by land subsidence

桑原祐史¹・小柳武和²・安原一哉³・村上哲⁴

Kuwahara Yuji, Koyanagi Takekazu, Yasuhara Kazuya, and Murakami Satoshi

抄録: 地下水揚水に伴う地盤沈下現象は、様々な規制に伴い沈静化する傾向にあるが、現在でも慢性的な地盤沈下現象が見受けられる地域は多くある。現象が起こる主要因は地下水揚水であり、継続的な揚水が行われた場合には社会基盤施設の機能低下や洪水の危険性が增大することが懸念されている。このため、沈下予測に基づき、影響を受ける地域を把握し、諸対応策を策定してゆくことが重要となる。本研究では、地盤沈下現象に対する対応策策定の支援を念頭に置き、地理情報システムを用いた社会基盤被害想定マップの構築方法について検討するとともに、関東平野北部における沈下予測量と社会基盤分布との関係について分析を進めた。

Abstract: Land subsidence in the Northern Kanto Plain has continued by groundwater abstraction. It has triggered direct and indirect damage to infrastructure in the objective area. Local governments are faced with the necessity of taking countermeasures against past damage and the probable occurrence of damage in the future. Based on the above-mentioned situation, this study is intended to construct a GIS-aided damage estimation map for existing infrastructures. It presents estimates for damage caused by land subsidence. Such a map would support decision making for local governments and provide information to citizens in the disaster area. Moreover, analysis using a GIS-assisted hazard map reveals the relation between predicted settlement of land subsidence and the present situation of infrastructure distribution. Such analyses will facilitate a priori determination of countermeasures against land subsidence-induced damage.

キーワード: 地盤沈下、地理情報システム、社会基盤、空間分布、地理情報、衛星画像

Keywords : Land subsidence, Geographical Information System, Infrastructure, Spatial distribution, Geographical Information, Satellite Image

1. はじめに

地下水揚水に伴う地盤沈下現象は、現在、諸機関の規制に伴い沈静化する傾向にあるが、関東平野北部・新潟平野・佐賀平野等では、慢性的な地盤沈下現象が現在でも見受けられる。地盤沈下現象が起こる主要因は地下水揚水であることが報告されており¹⁾³⁾、今後、継続的な揚水が行われた場合には、社会基盤施設の機能低下や洪水の危険性が增大することが懸念されている。安全で快適な生活空間を維持してゆくためには、沈下現象の予測に基づき、どのような社会基盤がどの地域でどの程度の沈下影響を受けるのか、という点を把握し、対処法を議論することが重要となる。

そこで、本研究では、地理情報の加工と編集作業に有意な地理情報システム (GIS:Geographical Information System) をプラットフォームとして選定し、地盤沈下災害を対象とした社会基盤被害想定マップの構築に着手した。沈下現象に伴い影響を受けることが想定される社会基盤情報項目の設定を行い、情報の収集・整理とデジタル化作業を通して、地理情報を生成した。このデータを基盤とし、対象領域内の密集状況を情報化するとともに、既往の研究で提示された沈下予測量との関連性について検討を進め、対応策を策定する際に考慮すべき限界の沈下量を示した。

2. 研究の目的

地盤沈下災害を対象とした社会基盤被害想定マップを構築し、沈下予測量と社会基盤の密集状況との関係から対応策を策定する際に考慮すべき沈下量を導くことを研究の目的とした。目的に対する解析目標は、以下の5点である。

- ①地盤沈下の影響を受けることが想定される社会基盤情報・自然環境情報・社会環境情報の項目を整理し、社会基盤被害想定マップの凡例を提案する。
- ②提案した凡例に基づき、図面・統計等各種の情報を収集、デジタル化作業により地理情報を生成する。
- ③地理情報システムを用いた加工・編集作業を通して、社会基盤被害想定マップを構築する。
- ④構築したマップに描画された社会基盤情報をメッシュ単位で集計し、沈下予測量との関係から対応策策定支援を念頭に置いた沈下予測量を示す。
- ⑤マップで使用する地理情報の更新を想定し、衛星リモートセンシング画像を用いた情報生成を試みる。

3. 研究の着目点

地盤沈下現象に伴う具体的な被害は、直接的な事例として建物や地下埋設管の破損、道路の凹凸の発生、用排水施設の機能低下等があげられる。また、間接的な

1: 正会員 博士(工学) 茨城大学 講師 工学部 都市システム工学科

(〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1, Tel:0294-38-5261, E-mail:kuwahara@mx.ibaraki.ac.jp)

2: 正会員 工博 茨城大学 教授 工学部 都市システム工学科(E-mail:koyanagi@mx.ibaraki.ac.jp)

3: フェロー会員 工博 茨城大学 教授 工学部 都市システム工学科

(〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1, Tel:0294-38-5166, E-mail:yasuhara@mx.ibaraki.ac.jp)

4: 正会員 博士(工学) 茨城大学 助手 工学部 都市システム工学科(E-mail:murakami@mx.ibaraki.ac.jp)

事例としては、地表面と河川との高低差が小さくなることに伴う浸水被害がある。現象は、比較的広域に跨り、かつ、徐々に進むという点に特徴があるため、被害の軽減と対策を議論する上で用いる情報は既存の行政境を超えたものが必要とされる場合がある。また、地盤沈下の現象は日本固有のものではなく、東南アジアを対象とした著者らの調査においても、上海・バンコク・ホーチミンといった各都市で深刻な問題として研究と議論が進められていた⁴⁾。以上の点を整理すると、地盤沈下現象に伴い影響を受けることが想定される社会基盤情報を整備し、更新の手段を検討しておくことは急務と考えられる。

加えて、社会基盤の受ける影響を想定する際には、地盤沈下量の予測が重要となる。この点に関して、地下水位の低下あるいは変動に起因する地盤沈下の観測的予測手法が村上^{1), 3), 5), 6)}らにより提案されている。本論では、これらの研究で提案された予測理論に基づく沈下予測量を適用し、社会基盤に対する対応策を議論する際に想定すべき沈下量を示した。この点は、既存理論を導入した情報の実用展開となる。

現在、地球温暖化に伴う海面上昇が諸社会基盤に及ぼす影響が懸念されており、低平地の被害の想定と対応策を議論しておくことは益々その重要性を増している。本論で対象とした地盤沈下現象は、地球環境変動への対策といった観点からも重要な課題と考えられる。

4. 対象地域の選定

本論では、対象領域として図-1に示す関東平野北部に注目した。本領域は、顕著な地盤沈下量が生じている地域であり、1990年～1994年に観測された累積地盤沈下量が75(mm)の範囲を含む市町村(28市町村)である。図に示したように、群馬・栃木・茨城・埼玉・千葉の各県に跨る領域であり、被害想定マップ構築に先立つ情報収集は、各県県庁を対象とした。また、表-1に対象領域を含む各県単位で取りまとめられた被害状況・沈下原因および被害内容を示す⁷⁾。

5. 社会基盤被害想定マップの情報構成

(1) 社会基盤被害想定マップの位置付け

社会基盤被害想定マップの構築に先立ち、各種の都市災害を想定し、行政単位で作成されている防災マップに着目した。防災マップは、災害の危険箇所、安全な場所、防災関連施設、その他防災に関する情報を地域ごとに人々に分かりやすく提供し、災害の未然防止や被害を最小限にとどめることを意図して作成する地図という考え方がある⁸⁾。本論で構築する社会基盤被害想定マップは、災害の防止および住民への分かりやすい情報提示形態については研究の範囲外とし、主として影響を受ける社会基盤情報に着目した。このため、

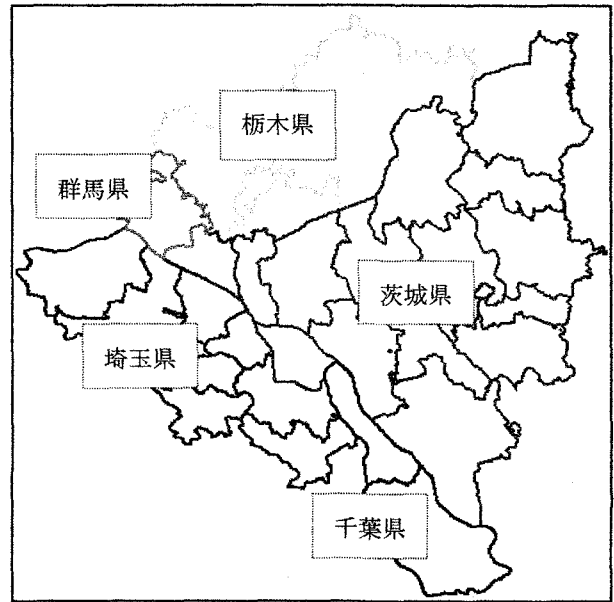


図-1 研究対象領域

表-1 地盤沈下被害状況・沈下原因および被害内容⁷⁾

		都道府県	茨城県	栃木県	群馬県	千葉県	埼玉県	
被害状況	直接被害	一般施設	建築物破壊または壁面 井戸等の 抜け上がり	◎			○	○
		公共施設	港湾・堤防・護岸等 の沈下 埋設物道路・橋梁 等の沈下・破壊 農業用水路 の沈下・破壊	◎	○		◎	○
	間接被害	地下水塩水化					○	○
		排水不良・洪水 ・高潮の危険性大						
主な沈下原因	地下水の採取	工業用	●	●	●	●	●	
		建築物用		●	●	●	●	
		水道用	●	●	●	●	●	
		農業用	●	●	●	●		
	消雪用							
その他			地下空洞		水溶性天然ガスの 採取	濁水		
具体的被害内容	被害対象	井戸		井戸の抜け上がり			井戸被害の抜け上がり	
		建築物	学校施設の一部が 沈下			ビルの抜け上がり	支持坑のある構造物の基礎の抜け上がり	
	各種配管路・排水施設	用排水機場及び用水路等に 障害				ガス管・水道管の破壊	各種配管路部分の亀裂	
	道路					下水路の勾配変化による排水不良、内水氾濫		
	港湾施設・堤防						道路・堤防の亀裂・脆弱	
	その他						塩水の浸入、自噴停止	

(備考) ◎: 対策済
○: 一部対策済を含め、現在も被害あり
△: 極めて局部的に被害あり

構築したマップは厳密には地盤沈下災害を対象とした防災マップとは異なるものとして考えた。

(2) 社会基盤被害想定マップの情報項目定義

マップの作成に先立ち、情報項目の定義を進めた。まず、防災マップが広く一般市民に情報提供を進めて

いる現状を鑑み、ネットワーク上での防災マップ情報収集を行った。具体的には、Web ページ検索エンジンにて「防災マップ」という検索キーワードを設定し、検索された「2 県 31 市 16 町 9 区 5 村」の防災マップの凡例を検討対象とした。なお、検討対象市町村の選定に際しては、火山防災等、都市災害に類しないものについては除外している。表-2 は、検索されたマップの累積凡例項目数である。情報項目の定義に際しては、表-2 に加えて、表-1 に示した地盤沈下災害による代表的な被害内容を考慮に入れ、災害で対象となる社会基盤情報項目を選定した。選定に際しては、累積凡例項目数が多いことを一つの目安 (20 件以上) としたが、時間の経過とともに除々に進行する、という災害そのものの特徴を反映させるため、避難路・緊急路やヘリポートといった項目は除くことにした。以上の検討を通して整理した情報項目を表-3 に示す。表に掲載された大項目のうち、「社会基盤施設」および「社会・経済」の小項目が、本論で構築した社会基盤被害想定マップの主要な凡例項目となる。

表-2 防災マップ凡例項目の累積数

凡例	累積凡例項目数
避難所	104
避難道路、緊急路	23
ヘリポート	21
地方公共団体	23
警察、消防	86
医療施設	47
学校	10
厚生機関(保健所)	3
その他公共施設(国の機関等)	9
その他公共施設(避難所に準ずる)	12
高齢者福祉施設	4
郵便局	4
防災水槽	17
備蓄倉庫	15
防災施設(関連機関)	13
防災施設(対策施設)	39
防災用資材庫(消防団詰所)	16
観測施設	5
防災通信施設	10
道路	19
橋梁	1
鉄道	5
公園	7
危険区域	83
神社・寺院・国指定文化財	5
河川・海	7
境界線	8
地形的留意箇所	13
エネルギー施設	3

6. 社会基盤被害想定マップの構築

(1) 情報・諸データの収集

凡例に基づくデータを構築するにあたり、必要となる情報収集を進めた。対象領域が5 県に跨るため、情報作成年次や情報作成密度 (精度など) の統一は困難であることが想定された。最低限の条件として、データ収集もれが無いよう、表-4 に示すデータ収集項目表を作成し、情報収集作業を進めた。データ収集作業を進めた結果、全ての情報作成年次を統一することは困難であった。データ作成に用いた情報源を表-5 に示したが、このうち、ロードマップおよび遺跡 (文化財調査結果) の情報に関しては、県単位で情報作成年次が異なるものを使用した。

(2) データ作成方法

a) 地理情報の作成

マップの作成は、GIS エンジンを用いて進めた。データ作成に際して統一しておく必要がある座標系は、対象領域が地方レベルの広域情報である点を考慮し、UTM(第 54 系)を採用した。また、紙面に展開されている諸情報のデジタル化に際しては、数値地図 25000 (空間データ基盤) および地図画像 50000 を基図として採用し、カラーディスプレイ装置上で位置関係を照合した後ポイントのプロットとライン作成を行った。データの作成は、地図上の位置に関する情報に加えて、図-2 に示すような属性情報を併せて GIS エンジン内に整備した。

b) 衛星画像の利用

マップの背景画には Terra/ASTER 画像を採用した。地盤沈下現象は広域に跨る事例が多いため、広域性・

表-3 情報項目の定義

情報大項目	小項目(凡例項目)	決定理由等
社会基盤施設	公的建築物	地盤沈下被害対象物
	地方公共団体	凡例調査より決定
	道路	地盤沈下被害対象物
	鉄道	地盤沈下被害対象物
	橋梁	地盤沈下被害対象物
	用排水施設	地盤沈下被害対象物
	堤防・護岸	地盤沈下被害対象物
	港湾施設	地盤沈下被害対象物
	避難場所(学校)	凡例調査より決定
	警察・消防	凡例調査より決定
	医療施設	凡例調査より決定
	危険区域	凡例調査より決定
	社会・経済	行政境
エネルギー施設		地盤沈下被害対象物
遺跡(県レベル)		地盤沈下被害対象物
人口集中地区(DID)		詳細なインフラへの影響を間接推定
自然	土地利用	巨視的な災害影響の把握
	河川・海	洪水等の2次災害
	樹林域	巨視的な災害影響の把握
外力 (地盤沈下現象)	地盤沈下実績	過去の沈下状況の確認
	地盤沈下予測	今後の沈下量の把握

表-4 データ収集項目表

情報源	必要項目
管内図	・公的建築物 ・道路・橋梁 ・河川 ・港湾施設
都市計画図	・用排水施設 ・井戸等 ・住宅密集地 ・土地利用
土地条件図	・堤防・護岸 ・地形 ・土地利用
地質図	・地形・地質 ・土地利用
土地利用図	・土地利用 ・混在域
地域防災計画	・危険区域 ・避難場所
地下水位分布	※地下水位調査結果等
保安林配置図	・保安林
各種統計資料	・人口 ・地価
文化財調査	・遺跡

同時性・周期性という特徴を有する衛星リモートセンシング画像を用いることが有意と判断したためである。加えて、衛星画像を背景画に利用することにより、凡例以外の情報（都市内緑地や大規模構造物等）をマップ参照者が独自の視点で判読することが可能となる。作成したマップの間接的な用途の向上に寄与できる点と考える。また、データ利用に先立ち、衛星画像と各種地理情報との位置整合を取る必要があった。本研究では、同一パスの衛星画像を接合した後に、地上基準点（GCP：Ground Control Point）を用いたアフィン変換による精密幾何補正処理を施した。

（3）社会基盤被害想定マップの表現

図-3 に作成した社会基盤被害想定マップを示す。なお、凡例のうち、人口集中地区(DID)については、栃木県のみでの情報収集結果になった。人口統計データや衛星画像等を用いた2次的なデータ作成が課題となる点である。

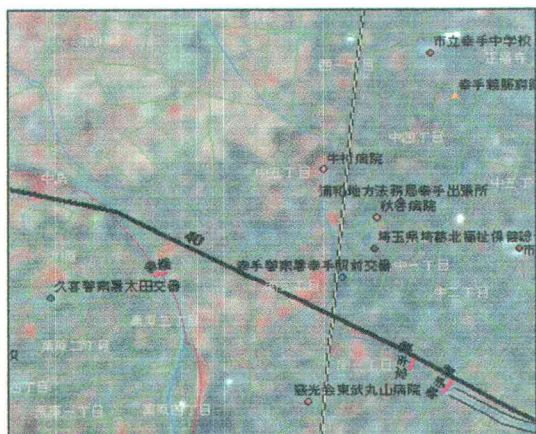
図より、久喜市・鷲宮町（埼玉県）、小山市小山駅周辺（栃木県）、古河市北部（茨城県）、下館市下館駅周辺（茨城県）、野田市野田駅周辺（千葉県）、以上の地域に社会基盤施設および社会・経済（人口集中地域を除く）情報が集中している地域であることが判読できる。また、板倉町（群馬県）、藤岡町（栃木県）、小山市南部（栃木県）、栃木・茨城県境南部、以上の地域では、これらの情報が少ない傾向が見て取れた。

FID	Shape*	指定	類別	名称
0	Point	国	北緯	乙女不動風瓦常勝
1	Point	国	北緯	龍盤塚古墳
2	Point	国	北緯	磨利支塚古墳
3	Point	国	北緯	基城部
4	Point	国	北緯	旗岡村跡
5	Point	国	北緯	中久喜城跡
6	Point	県	北緯	鷹沙門山古墳
7	Point	県	北緯	千駄塚古墳
8	Point	県	北緯	愛宕塚古墳
9	Point	県	北緯	高待神社境内

図-2 属性情報（遺跡関連の情報例）

表-5 データ作成に用いた情報源

情報大項目	小項目(凡例項目)	情報源	備考
社会基盤施設	公的建築物	空間データ基盤	縮尺:1/25,000
	地方公共団体	空間データ基盤	縮尺:1/25,000
	道路	空間データ基盤	縮尺:1/25,000
	鉄道	空間データ基盤	縮尺:1/25,000
	橋梁	管内図・都市計画図	
	用排水施設	管内図・都市計画総括図	
	堤防・護岸	管内図	
	港湾施設	-	※対象領域に無
	避難場所(学校)	空間データ基盤	縮尺:1/25,000
	警察・消防	空間データ基盤	縮尺:1/25,000
社会・経済	医療施設	空間データ基盤	縮尺:1/25,000
	危険区域	土木事務所管内図	
	行政界	空間データ基盤	縮尺:1/25,000
	エネルギー施設	ロードマップ	
自然	遺跡(県レベル)	遺跡地図等	※住所より検索含
	人口集中地区(DID)	管内図	栃木県のみ
	土地利用	国土数値情報	
外力(地盤沈下現象)	河川・海	空間データ基盤	縮尺:1/25,000
	樹林域	Terra/ASTER	
外力(地盤沈下現象)	地盤沈下実績	沈下量図	茨城大学防災・環境地盤工学研究室
	地盤沈下予測	予測累積地盤沈下量	茨城大学防災・環境地盤工学研究室



凡例

- 公的建築物
- 地方公共団体
- 道路区間
- 鉄道区間
- 橋梁
- 用排水施設
- 河川区間
- 堤防・護岸
- 避難場所(学校)
- 警察・消防
- 医療施設
- 危険区域
- 行政界
- エネルギー施設
- 温泉
- 沈下予測(2001-2005)
- 人口集中地区(DID)

※マップ上黄色で示した地域の拡大図

図-3 社会基盤被害想定マップ

また、堤防・護岸といった防災に類する社会基盤情報は、村上らの理論に基づき予測された累積地盤沈下量(2001年～2005年)のうち、最も大きな沈下予想区域に含まれるものもある。加えて、社会基盤情報のうち、道路・鉄道といったラインで示される交通関連用途の分布状況を確認するため、1(km)メッシュ単位で情報整備が既に行われている国土数値情報を参照した。図-4は、交通地面積上に同様の累積地盤沈下量をオーバーレイさせた画像である。この図から判読できる傾向は、交通地面積の大きい領域は、社会基盤施設および社会・経済情報が多い地域とほぼ一致している点である。予測された累積地盤沈下量としては、60(mm)以下の領域に主として分布していることがわかる。

以上の判読の結果、主として点情報で示された社会基盤施設(道路・鉄道・堤防・護岸を除く)および社会・経済情報(人口集中地域を除く)の対象領域内分布を定量的に把握する必要性が感じられた。次章では、社会基盤被害想定マップ上にメッシュを発生させ、これらの情報のメッシュ内分布密度と累積地盤沈下量との関係を分析する。

7. 社会基盤施設および社会・経済情報の分析

a) 分析に先立つ集計単位の設定

分析に先立ち、一辺3(km)の矩形ポリゴンデータを作成し、社会基盤被害想定マップにオーバーレイ処理を施した。次に、このポリゴン毎に、マップに掲載されている社会基盤施設(道路・鉄道・堤防・護岸を除く)および社会・経済情報(人口集中地域を除く)の数をカウントした。この後に、カウント数の最大が31件であることを考慮し、ポリゴンで指定したエリアに含まれる凡例項目数5件毎にランク分けを行った。図-5にランク分けの結果を示す。情報の集中している地域は、社会基盤被害想定マップより判読した地域と同様であるが、集中の度合いにレベルを付けられる点为本図の特徴となる。この観点に基づき、改めて図を見ると、久喜市近傍、古河市北部に、特に高レベルの地域が分布していることが確認された。

b) 情報の集計手順

図-5に示したランク分け図上に、予測された累積地盤沈下量図(2001年～2005年)のコンター図を重ねて表現し、各ポリゴン内の約50%の面積を占有する沈下量毎にポリゴン数をカウントした。図-6に、ポリゴンカウントの一例を示す。図に示す方法に基づき、全領域のポリゴンが属する沈下予測量を把握した。表-6は、沈下予測量毎にカウントされたポリゴンを、凡例レベル毎に整理した結果である。

表より、沈下予測量の小さい領域に多くの社会基盤施設(道路・鉄道・堤防・護岸を除く)および社会・経済情報(人口集中地域を除く)が分布していることが

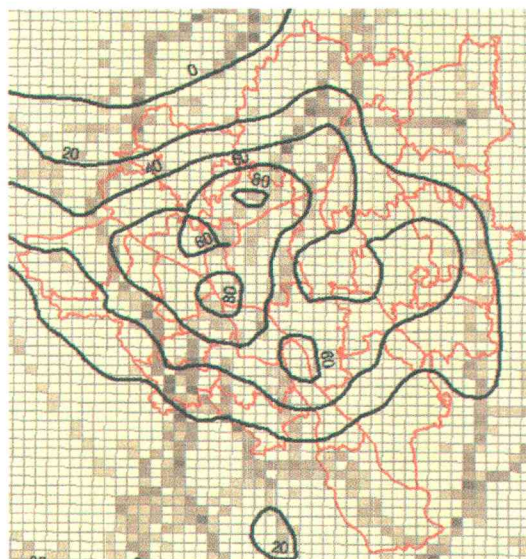


図-4 交通地面積と予測累積地盤沈下量コンターとの関係
(図中色が濃いメッシュほど、交通地用途が大を示す)

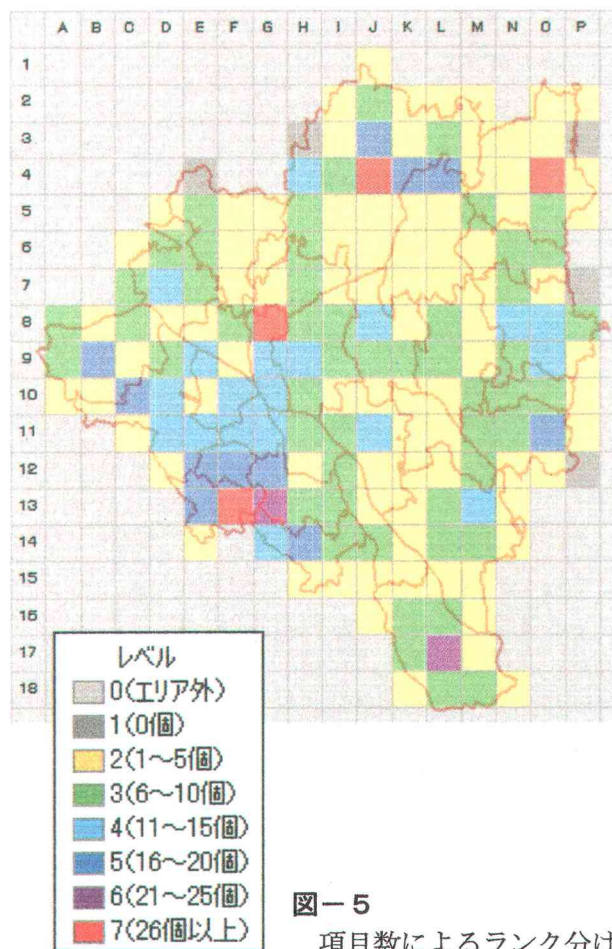


図-5 項目数によるランク分け図

把握できる。この結果から、本地域において2001年～2005年度間を対象とした地盤沈下現象に伴う様々な対応策を策定してゆく際には、沈下予測量60(mm)が、考慮すべき目安になると考える。

8. 衛星データを用いた情報更新の可能性

本研究で構築した社会基盤被害想定マップの情報源

は複数の関連機関に跨り、かつ、情報作成年次の統一は困難な条件であった。マップの新規更新と、国外への事例展開を構想する際には、衛星リモートセンシングデータより作成する2次的な情報生成手段が期待される。研究では、マップの背景画として用いたTerra/ASTER画像を用い、事例として植生域画像を作成した。図-7に出力結果を示す。適用した方法は、植生の分布密度と活性度を表現する方法として多用されている正規化植生指標(NDVI:Normalized Differential Vegetation Index)である。図中、灰色で示した領域が植生域(樹林と草地を包含)に該当する。今後、人口集中域の推定や、土地利用情報の更新に衛星データを導入するとともに、高解像度衛星画像を用いた社会基盤情報の生成という点について研究を展開することを考えている。

9. まとめ

本研究の成果は、以下の3点である。

- ①地盤沈下災害を対象とした社会基盤被害想定マップ作成に必要な情報項目を定義し、地理情報システムをプラットフォームとしたマップを作成した。
- ②作成した社会基盤被害想定マップより、以下のことが明らかになった。
 - a) 堤防・護岸は、本地域における累積沈下予測量をもっとも大きい地域を縦断している。
 - b) 交通地面積の大きい領域は、社会基盤施設および社会・経済情報が多い地域とほぼ一致している。
 - c) 3(km)矩形メッシュ単位で、社会基盤施設(道路・鉄道・堤防・護岸を除く)および社会・経済情報(人口集中地域を除く)の項目をカウントしたところ、久喜市近傍、古河市北部に特に施設が集中していることが確認された。社会基盤施設のうち、主として建築物に注目した場合には、沈下量 60(mm)という数値が沈下予測量の目安になると考える。
- ③衛星リモートセンシングデータを用いたマップの情報更新に注目した。本論では検討項目を提示するに留まるが、今後の課題として着手する予定である。

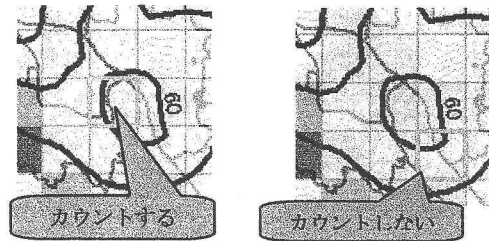
地盤沈下現象を対象とした類するマップの構築は、社会基盤に関する精密な情報整備が希薄な地域での展開も必要とされる。このため、衛星データ等、様々な異種データより、必要とする情報の面的生成技術の構築が望まれ、今後の課題としたい。また、減災(システム構築)への利用を念頭に置いた情報項目の検討や、住民への積極的な情報提示を目的とした分かりやすい情報提示形態についても研究を進め、地盤沈下防災マップの構築に展開することも重要な課題と考えている。

謝辞：本研究を進めるにあたり、元茨城大学工学部都市システ

表-6 沈下予測量と含まれる項目レベル数

累計予想沈下量	レベル						
	1	2	3	4	5	6	7
80mm以上	—	—	1	1	—	—	—
60mm以上	—	10	7	7	—	—	—
40mm以上	—	31	21	13	3	—	1
20mm以上	1	50	37	17	9	1	3

※—は0個



事例：沈下予測量 60(mm)に含まれるポリгонをカウントする。
図-6 ポリゴンのカウント方法

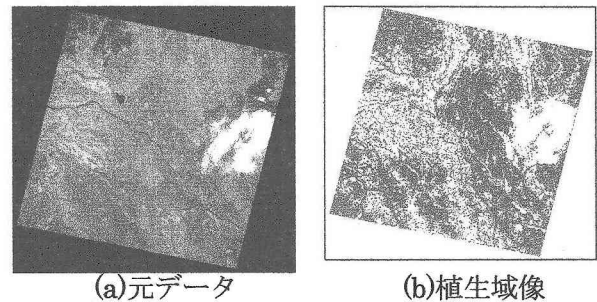


図-7 衛星データを用いた情報作成事例(植生域)

ム工学科鳥越映次氏(現いわき市役所)にはデータ処理に多大なるご協力を頂いた。ここに記して深謝する。また、本研究の一部は、日産科学振興財団(平成13年度~平成15年度)の研究助成を頂いて行ったものである。付記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) S.Murakami, K.Yasuhara, and F.Murata: Land Subsidence Prediction Using a Geographical Information System(GIS), Proceeding of the International Symposium on Lowland Technology, pp.507-512, 1998.
- 2) 安原一哉・村上哲・井上涼介・福田裕子：広域地盤沈下地帯における杭基礎の地震時危険度評価、構造工学論文集、Vol.46A, pp.721-728, 2000.
- 3) 村上哲・安原一哉・小峯秀雄・早野智博・愛澤有一：GIS援用による広域地下水流動逆解析による透水量係数の同定、応用力学論文集、Vol.5, pp.53-60, 2002.
- 4) Zhu Hehua, Lin Zhi, Ye Bin: The Situation on the Land Subsidence and Countermeasure Analysis in Shanghai, 地下水地盤環境に関するシンポジウム 2002 発表論文集 pp.76-87, 2003.
- 5) S.Murakami, K.Yasuhara, and F.Murata: Land Subsidence Prediction and Its Visualization Using Geographical Information System(GIS), Proceedings of International Symposium 2000 on Groundwater(Groundwater Updates), Springer Verlog Co.LTD, pp.79-84, 2000.
- 6) 村上哲・安原一哉・望月紀子：GISに適用する広域地盤沈下の観測的予測手法、日本地下水学会誌、第45巻、第4号、pp.391-407, 2003.
- 7) 環境省ホームページ「全国地盤環境情報ディレクトリ」
<http://www.env.go.jp/water/jiban/>
- 8) 内閣府ホームページ「防災マップ」
<http://www.bousai.go.jp/map/map.html>

(2004.5.21受付)