

GeoDesign を用いた津波被災地域における復興計画策定のための フレームワークの構築

GeoDesign Based Framework in Aid of Restoration Planning in Tsunami-hit Areas

矢野 桂司*¹・松岡 恵悟*²・磯田 弦*³

Keiji YANO, Keigo MATSUOKA and Yuzuru ISODA

1. はじめに

東日本大震災の被災地域では、自治体ごとに復興計画が策定されつつある。被害の実態を明らかにするとともに、被災地の復興に向けての地域計画を実行することが急務である。そのための枠組みとして、近年、地理情報科学分野で注目を浴びている、地理情報システム (GIS: Geographic information system) を活用した GeoDesign を提案する。

GeoDesign は、地域の過去や現在の自然環境と人文・社会環境を、GIS を用いて記述・説明し、その成果をベースとして、当該地域の将来を決定していくための枠組みである。それは、景観計画のための6つのモデル(表現、プロセス、評価、変化、インパクト、意思決定)から構成されるもので、ハーバード大学計画研究科 (Graduate School of Design) の Carl Steinitz 教授によって考案され、自然保全と開発がぶつかり合うような地域での将来計画策定に用いられてきた(スタイニッツほか編、1999; 矢野、2001)。

本研究の目的は、この GeoDesign に基づいて、東日本大震災の被災地の復興過程における様々な都市計画案の提言や策定を支援することにある。ここでは、地震と津波の甚大な被害を受け、いち早く復興計画を公表した石巻市と女川町を中心とする石巻地域を対象地域とする。

2. GeoDesign とは

GeoDesign は、GIS を最大限に活用して地域の将来計画を利害関係者による話し合いによって進めていくための分析枠組みである。その枠組みは、対象地域の景観の、表現、プロセス、評価、変化、インパクト、意思決定の6つのモデルの段階に分けられる(第1図)。

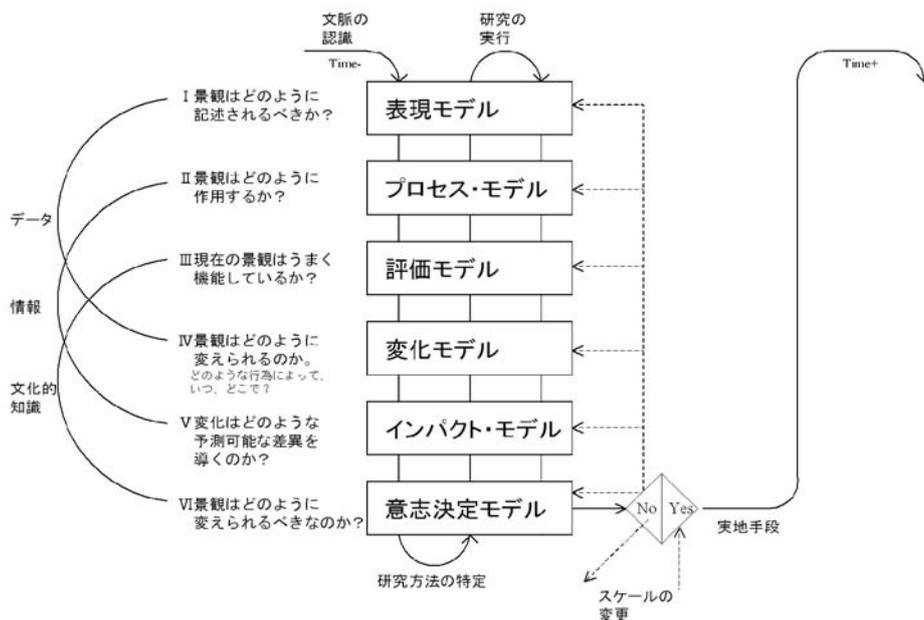
- 1) 表現モデル: 必要な景観要素を特定し、GIS データとしてそれらの要素を地図化する。
- 2) プロセス・モデル: 開発・保全などのさまざまな視点から、どのような景観がどのような機能を持つのかを検討し、景観要素の組み合わせからそれらの関係のロジックを特定する。
- 3) 評価モデル: 現行の土地利用(被覆)に対して、プロセス・モデルを適用し、さまざまな視点から魅力・危険度の評価を行う。

*1 立命館大学文学部教授

*2 立命館大学文学部非常勤講師

*3 東北大学理学部准教授

- 4) 変化(計画)モデル:地域の将来人口や土地利用規制などを考慮しながら、将来計画シナリオを作成する。
- 5) インパクト・モデル:それぞれの将来計画シナリオごとに作成された土地利用に対して、プロセス・モデルを適用し、将来の土地利用変化の魅力・危険度を評価する。
- 6) 意思決定モデル:各将来計画シナリオのインパクトの比較を行い、さまざまな視点から、どの将来計画シナリオがより好ましいかを議論する。



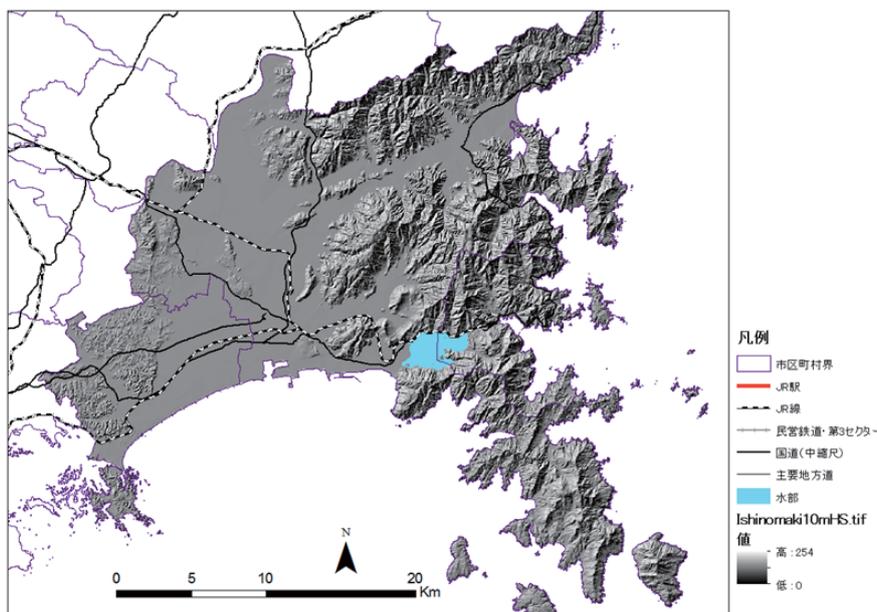
第1図 GeoDesignのフレームワーク (スタイニッツ、C.編著)

この6つのモデルは、第1図のような1)から6)の順序で実施されるが、一度各モデルが実施された後に、逆方向に修正を加え、より良い意思決定に向けて、繰り返されることが前提となっている。

本稿では、石巻地域を対象に、GeoDesignの枠組みを適用して、石巻市の仮設住宅の評価方法を行うことにする。仮設住宅の設置に関しては、土地所有、建設時期、入居者の属性など、様々な要因が存在するが、ここでは簡略化のために、津波浸水被害が想定される津波危険度と、住民の居住環境を表す居住魅力度をとり上げて、GeoDesignを紹介することにする。

3. 対象地域と土地利用データの作成

GeoDesignの枠組みの1)表現モデルに対応させて、対象地域である石巻市および女川町を含む石巻地域(第2図)の震災復興計画立案に必要な、自然、社会・経済的な地理空間情報を特定し、入手可能なさまざまなGISデータを収集した。これらのGISデータの中には、政府によって既に作成されているものに加えて、民間地図会社や有償のものも含まれている(補遺1)。これらのGISデータは、津波浸水域のもの以外は、基本的に2011年3月11日の東日本大震災以前の状況のものである。



第2図 対象地域

1) 土地利用 GIS データの作成

石巻地域の被災地復興にあたり、その地域復興計画の立案や復興による土地利用変化の評価などを効率的かつ定量的に行ううえで、GIS 上で運用可能なデジタルの土地利用データが不可欠である。そのデジタル土地利用データについて、日本で整備されている汎用性の高いものとしては、①宅地利用動向調査の成果としての細密数値情報(10m メッシュ)と、②国土数値情報の土地利用細分メッシュ(約 100m)の2種があり、ともに1970年代以降の数年次分(10年程度の更新間隔)が整備されてきた。しかし、①の細密数値情報は三大都市圏地域のみが整備対象となっており、他の地方圏についてはデータが無く使用できない。一方、②の土地利用細分メッシュのデータは全国について整備されているが、そのメッシュのサイズが約100m四方であるため市町村程度の広がり範囲を分析するには粗いうえ、最新のデータでは土地利用分類が11区分と少ない。そのため例えば、細密数値情報によると主要な街路網のほか、市街地内の都市的土地利用について商業・業務用地、住宅地(3種)、公園など都市計画に必要な情報が得られるものの、土地利用細分メッシュでは幹線道路であってもほとんどの場合はデータには表されず、都市的土地利用分類は「建物用地」または「その他の用地」に集約されることとなるため、とくに都市的地域の土地利用把握においては有効とは言い難い。

以上のことから、石巻地域については、細密数値情報と同じ1セルあたり10m×10m程度の解像度の土地利用データの整備が必要となる。しかし、細密数値情報の整備手法と同様に各種参考資料の収集や基図作成、空中写真判読による土地利用分類を行うのでは迅速性に欠け、震災復興計画に資するという目的にそぐわない。そこで、本研究では、有償・無償を含む既成のGISデータを活用したデジタル土地利用データの作成を試みた。

ここで使用した既成のデータ・セットと、生成された土地利用データにおける土地利用分類区分との関係を第1表に示した。これらはすべてベクタ型のデータであり、面(ポリゴン)データと線デー

タを含む。なお、当初予定したデータ作成対象地域は石巻市と女川町のみであるが、地域的な連続性を考慮して東松島市の市域も含めた。このデータ作成過程で特に重要なデータは①「自然環境保全基礎調査」、②「空間データ基盤 2500」、③「GISMAP for Road(北海道地図)」、④「空間データ基盤 25000」、⑤「Zmap Town II (ゼンリン住宅地図)」、⑥「基盤地図情報 2500」である。

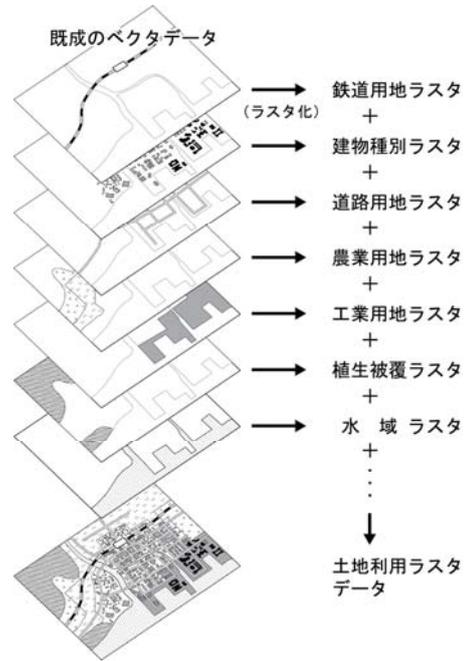
第1表 土地利用データ作成に使用した既成GISデータと土地利用分類区分

使用した既成データの名称		各データの属性情報、使用法など	土地利用分類区分	
自然環境保全基礎調査 (面)		水田雑草群落	水田	
		畑雑草群落	畑	
		果樹園	果樹園	
		牧草地	牧草地	
		カラマツ植林/クロマツ植林/スギ・ヒノキ・サワラ植林	植林地	
		ヒノキアスナロ群落(IV)/ハンノキ群落(IV)/ヤマハンノキ群落/カシワ群落(V)/モミイヌブナ群落/ニセアカシア群落/オオモミジケヤキ群落/アカシデモミ群落/シキミモミ群落/オニグルミ群落(V)/ヤナギ高木群落(IV)/イロハモミジケヤキ群落/タブノキ群落/アオハダモミ群落/マサキトベラ群落/アカマツ群落(V)/クローナラ群落	森林	
		竹林/アズマネザサ群落	笹地・竹林	
		ヒルムシロクラス/シオクグ群落/ミソソバヨシ群落/ヨシクラス/ススキ群団(V)/オギ群落/コハマギク群落	湿地・草地	
		放棄水田雑草群落/路傍・空地雑草群落/伐採跡地群落(V)/自然裸地	荒地	
		砂丘植生	砂丘	
		開放水域	水域	
		市街地	市街地	
		▲線の多い住宅地	住宅地	
		▲工場地帯	工場用地	
		▲ゴルフ場・芝地	ゴルフ場等	
		造成地	造成地	
	空間データ基盤2500	公園等場地(面)	公園、運動公園	公園
			小・中学校、高等学校、大学など	学校
			寺、墓地、霊園	寺院・墓地
			航空自衛隊松島基地	自衛隊基地
鉄道用地(面)			鉄道用地	
内水面(面)		※「水域」を補正		
北海道地図 GISMAP for Road	道路中心線(線)	※広幅員道路についてはGISMAP for Roadの属性情報に、他の道路については地形図の階級区分に基づき、中心線から幅員分のバッファを生成	一般道路	
空間データ基盤25000	道路中心線(線)		高速道路	
ゼンリン住宅地図 Zmap Town II	建物(面)	※属性情報に基づいて分類(石巻市・女川町)	事業用途建物 集合住宅 戸建住宅	
基盤地図情報2500	建物(面)	※建物用途に関する属性情報無し(東松島市)	用途未調査建物	
	内水面(面)	※「水域」を補正		
国土数値情報	農業地域(面)	※「水田」、「畑」、「果樹園」、「住宅地」(農業集落)を補正		
	森林地域(面)	※「森林」、「植林地」を補正		
	工業用地(面)	※「工場用地」を補正		
	湖沼(面)	※「水域」を補正		
数値地図画像(25000)		※25000分の1地形図の判読により「水田」、「畑」、「果樹園」、「市街地」、「住宅地」を補正		

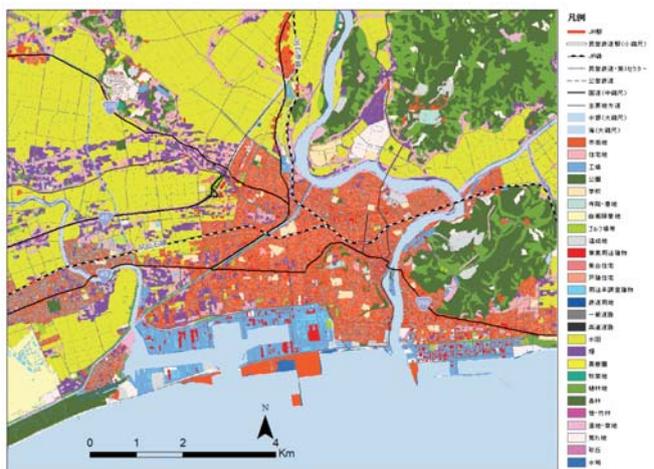
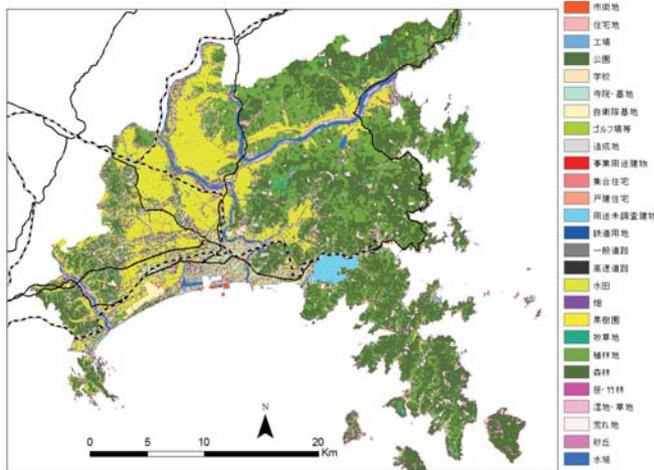
※ 既成データの名称に付記した(面)と(線)はデータ構造がポリゴンまたはラインであることを示す。

このうち①は環境省自然環境局・生物多様性センターが提供している自然環境保全基礎調査(植生調査)の結果データであり、対象地域の主要部分については第6回調査以降の結果データ(25,000分の1の精度)を使用し、その未整備地域(対象地域の北東部)については第5回調査以前の結果データ(50,000分の1の精度)を使用した。そしてこのデータに収録された土地の植生状況に関する属性を再分類することにより、「水田」、「畑」、「果樹園」、「牧草地」、「植林地」、「森林」、「笹地・竹林」、「湿地・草地」、「荒地」、「砂丘」、「水域」、「市街地」、「住宅地」、「工場用地」、「ゴルフ場等」、「造成地」の16の土地利用分類区分を得た。次に②の国土地理院が刊行している「空間データ基盤 2500」に収録された公園等の場地のデータから、その属性に基づいて「公園」、「学校」、「寺院・墓地」、「自衛隊基地」、「鉄道用地」の5つの土地利用分類区分を得た。また市街地、住宅地、工業用地のうち実際に建物が建っている建ぺい部分について、石巻市と女川町は⑤のゼンリン住宅地図の建物データに基づき、店舗や企業等が入居する「事業用途建物」

と、「集合住宅」、戸建ての「一般住宅」の3つの土地利用分類区分を、東松島市についてはゼンリン住宅地図が得られないことから国土地理院「基盤地図情報 2500」の建物データに基づき「用途未調査建物」として追加した。なお、上記の土地利用分類区分のうち水域、水田、畑、果樹園、市街地、住宅地、森林、植林地、工場用地については、空間データ基盤 2500 の内水面データ、基盤地図情報の内水面データ、国土数値情報の農業地域データ、森林地域データ、工業用地データ、湖沼データおよび数値地図画像 (25000) の判読に基づいて補完した。「一般道路」と「高速道路」については既成の面データが得られないため、中心線のデータに対し道路幅員に相当するバッファを発生させて面データ化した。なお、道路幅員の値は、広幅員の幹線道路については③の北海道地図が販売している GISMAP for Road のものを、その他については



第3図 土地利用ラスタ生成のイメージ図



第4図 石巻地域の土地利用GISデータの概観

④の「空間データ基盤 25000」の道路中心線データに属性として付随する値 (25,000 分の 1 地形図の道路幅員の階級値) を使用した。

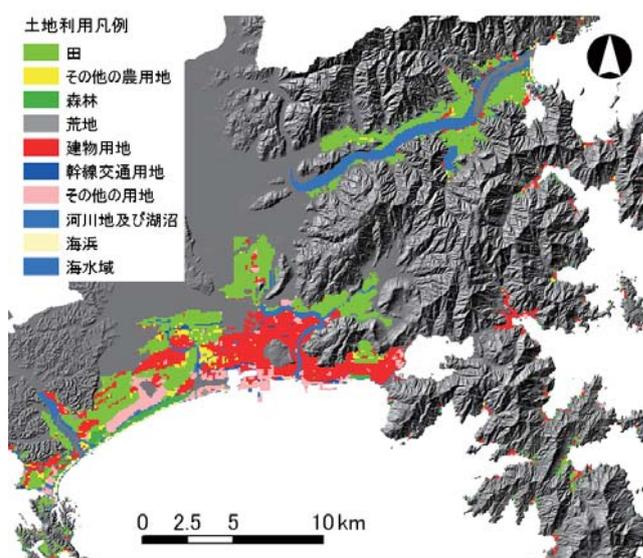
続いて、先述の各データを統合することにより、最終的に 10m メッシュの土地利用ラスタ・データ (以下「土地利用 GIS データ」と表記) を生成するのであるが、その手順は第 3 図に示したように各ベクタ・データをラスタ・データに変換したうえで重ね合わせ、1 つのラスタ・データに統合するというものである。今回のように整備主体が全く異なる複数のベクタ・データを統合する場合、本来一致するはずである同一の地物の位置や境界線がデータ間で数十センチから数メートルずれ、隣り合うポリゴンやライン間に隙間や重なりが発

生してしまうことが障害となりうる。しかも、ここで使用したデータは元の縮尺(精度)が 50,000 分の 1 から 2,500 分の 1 と大きく異なるため、ベクタ型のままの状態では統合を図ると、この問題が顕著に現れると予想された。しかし、10m メッシュのラスタ化を行うことでこの問題はほぼ完全に回避できるため、この意味でも今回のような土地利用データの迅速な作成において、ラスタ型でのデータ整備のメリットは大きいと言える。なお、ベクタ・データのラスタ化に際しては、平面直角座標系第 10 系の座標原点を原点として 10m メッシュへの変換を行った。生成した各ラスタ・データの統合は、使用したデータのなかで最も小縮尺の(精度が低い)自然環境保全基礎調査の結果データ由来のラスタに対して、より精度の高い(縮尺 2,500 分の 1 の)水域、道路、鉄道用地、公園・学校等、建物などを順に重ねあわせる形で行い、目的の土地利用 GIS データを完成させた(第 4 図)。

2) 津波浸水地域の土地利用について

現在、国土地理院はその Web サイトにて津波浸水地域の土地利用データを提供している。このデータは前述の土地利用細分メッシュ(約 100m メッシュ)単位で、中心点が浸水したメッシュの

集まりを津波浸水地域として表している。このデータを基に、浸水地域を地図に表すと第 5 図のようである。この図から、対象地域において津波浸水の広がり最も大きいのは石巻市の中心市街地が位置する石巻平野南部であり、続いて北上川河口付近の平地においては河口部から上流に向かって約 15km にわたって浸水が見られることが明瞭に読み取れる。さらに個々の広がり相対的に小さいものの、女川町の中心部を含めたリアス海岸部の湾奥の平地も、浸水を免れた場所を見つけるのは



第 5 図 土地利用細分メッシュで表現した津波浸水地域
(国土地理院提供)

第 2 表 土地利用細分メッシュに基づく石巻地域の土地利用分類別津波浸水面積
(単位は ha)

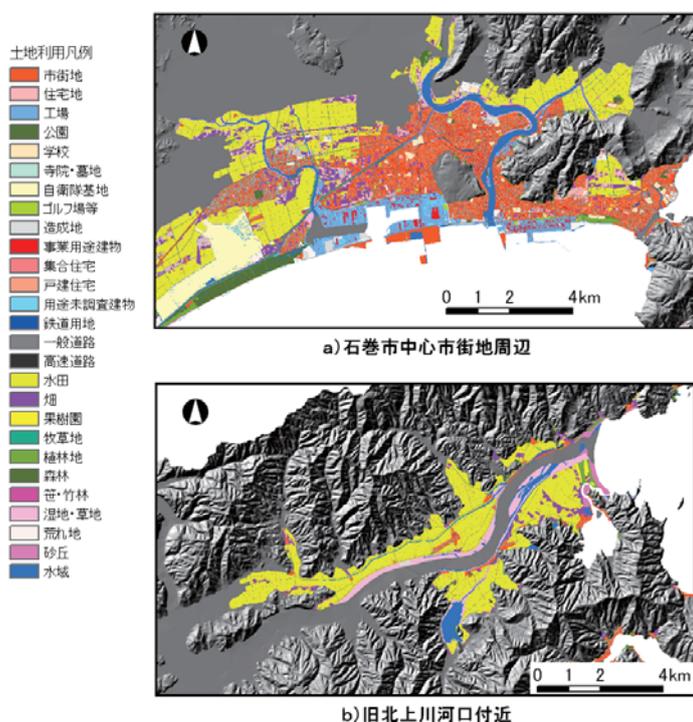
土地利用分類	石巻市			女川町	東松島市	総計
	中心市街地周辺	北上川沿い	リアス海岸部			
田	1348.7	1339.5	59.6	2.0	1507.1	4256.9
その他の農用地	81.5	46.4	12.1	5.0	180.0	325.0
森林	47.5	100.8	160.5	57.5	328.3	694.6
荒地	26.3	5.0	20.2	7.1	42.4	101.0
建物用地	1813.8	107.8	237.3	156.5	763.7	3079.0
幹線交通用地	57.6	31.2	2.0	2.0	33.2	126.1
その他の用地	454.7	12.1	35.3	30.3	432.8	965.3
河川地及び湖沼	305.9	897.2	2.0	1.0	279.7	1485.7
海浜	34.3	32.2	23.2	3.0	112.1	205.0
総計	4170.2	2572.3	552.3	264.5	3679.4	11238.6

難しい。では、浸水した土地の利用状況はどのようであったろうか、提供されている土地利用メッシュ個々の面積を GIS 上で計算したうえで、エリアごとに土地利用区分別に集計すると第 2 表の通りである。この土地利用分類中で最も浸水面積が大きいのは田の約 4,257ha である。一方で市街地(都市的土地利用)は建物用地、幹線交通用地、その他の用地に分類されており、合計すると約 4,170ha となる。

しかし、このデータでは土地利用の分類区分が少ないため、商業地域、工業地域あるいは住宅地域といった、より詳細な土地利用区分に基づく把握は不可能であるうえ、約 100m のメッシュ単位であるため、地盤標高や津波の浸水深と関連付けた把握も困難である。そこで、前章にて説明した 10m メッシュの土地利用 GIS データを使用して、津波浸水地域のより詳細な土地利用を推定してみたい。その際の津波浸水地域の範囲を表すデータには、(株)パスコより提供を受けた空中

写真判読に基づくデータを使用した。なお、このデータが示す浸水範囲は、前出の国土地理院の土地利用データが示すものとは異なるため、両データから把握される土地利用を直接的に比較することは適当ではないことを断っておく。

第 6 図には津波浸水地域に含まれる土地利用 GIS データを、第 3 表には両データのオーバーレイにより求めた津波浸水地域の土地利用分類別面積の集計結果を示した。なお、第 3 表には土地利用細分メッシュと今回作成



第 6 図 土地利用 GIS データで表現した津波浸水地域
(株)パスコ提供

した土地利用 GIS データにおける土地利用分類のおおよその対応関係を示した。土地利用細分メッシュが示す津波浸水範囲では石巻中心市街地北部の水田地域にも広く浸水地域が見られるが、(株)パスコ提供の浸水範囲データにはその地域が含まれないため、第 3 表の石巻中心市街地周辺の「水田」面積は第 2 表の「田」の面積より大幅に小さい値になっている。その他においては大きくない違いは認められない。ところで、土地利用 GIS データでは土地利用細分メッシュに比べて精度が上がり、土地利用分類が増えたことで、とくに市街地周辺の土地利用についてはより詳細な把握が可能になった。分解能が 100m 程度の土地利用細分メッシュでは、ほとんどの道路は「建物用地」に組み込まれる形になっていたが、第 3 表では分離して把握されており、この点だけを見ても実際に浸水した建物用地の面積推計がより正確になったことがわかる。

第3表 土地利用 GIS データに基づく石巻地域の土地利用分類別津波浸水面積

(単位は ha)

土地利用分類		石巻市			女川町	東松島市	総計
100mメッシュの分類	10mメッシュの分類	中心市街地周辺	北上川沿い	リアス海岸部			
田	水田	735.4	1215.1	73.2	0.0	1334.5	3358.2
その他の農地	畑	141.0	112.5	40.6	4.1	229.3	527.4
	果樹園	0.0	12.1	2.5	1.0	4.9	20.5
森林	植林地	38.0	47.2	40.2	11.6	168.0	305.0
	森林	45.5	21.9	50.2	15.8	65.7	199.1
	笹・竹林	0.1	0.0	2.5	0.1	1.6	4.3
荒地	湿地・草地	83.3	201.4	15.9	3.7	97.7	401.9
	荒地	74.1	0.0	19.2	8.4	78.7	180.5
建物用地	市街地	968.9	66.9	147.6	108.9	257.0	1549.2
	住宅地	104.3	0.0	43.1	21.4	255.8	424.6
	学校	56.7	0.0	3.5	0.1	12.7	73.0
	寺院・墓地	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2
	事業用途建物	138.7	2.8	7.2	10.3	2.2	161.1
	集合住宅	30.4	0.0	0.6	1.3	0.2	32.5
	戸建住宅	189.5	10.8	22.5	16.5	4.0	243.3
	用途未調査建物	121.1	11.0	15.0	10.2	174.8	332.0
幹線交通用地	鉄道用地	20.0	0.0	0.0	1.2	12.0	33.2
	道路	357.4	91.8	43.8	25.6	228.7	747.3
	高速道路	1.5	0.0	0.0	0.0	9.1	10.5
その他の用地	工場	303.1	0.0	6.0	5.4	6.9	321.3
	公園	7.2	0.0	0.0	0.0	131.1	138.3
	自衛隊基地	0.0	0.0	0.0	0.0	349.8	349.8
	造成地	31.5	4.1	3.3	0.0	10.6	49.5
ゴルフ場	ゴルフ場等	21.8	0.0	0.0	0.0	26.0	47.8
河川地及び湖沼	水域	282.4	156.7	16.6	6.3	144.9	606.9
海浜	砂丘	0.0	41.2	6.0	0.4	6.3	54.0
合計		3753.0	1995.3	559.4	252.2	3612.4	10172.2

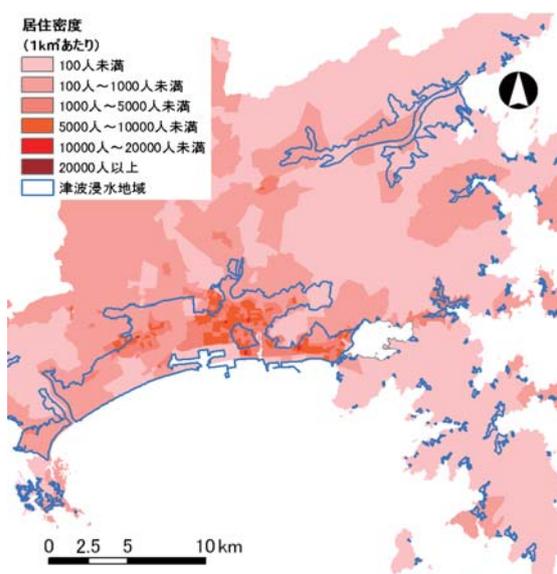
※この表の示した土地利用細分メッシュ(100mメッシュ)と10mメッシュ土地利用の土地利用分類の対応関係は完全なものではない。

3)津波浸水地域の人口・産業分布について

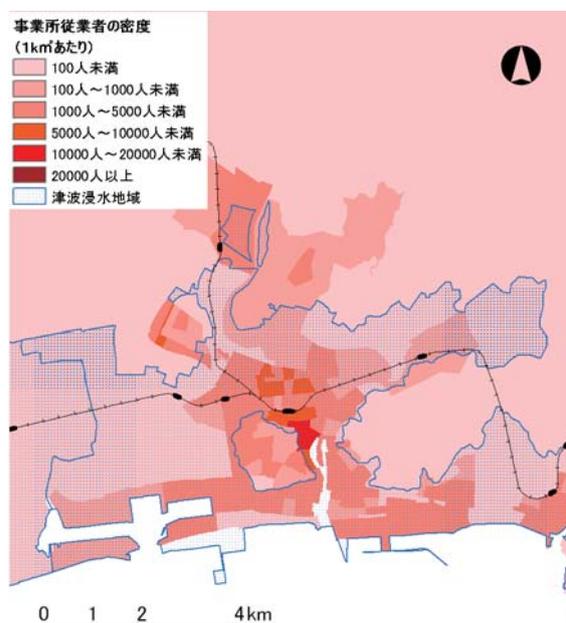
次に、今回整備したデータのうち、国勢調査(2005年)と事業所・企業統計調査(2006年)の町丁字別集計データを使用して、津波浸水地域の居住者数と、事業所数および従業者数を推計した。具体的には、まず両調査の人口や事業所数の統計値を、それぞれの町丁字内では均等に分布しているという仮定のもとに町丁字単位で密度(10m×10m=10m²あたり)に変換し、それらの密度値をセル値として格納した10mメッシュのラスターデータを生成したうえで、津波浸水地域に重なる10mメッシュのセル値を集計した。

まず、居住者の分布について第7図に示した。この地域において最大の人口集積エリアは石巻市の中心市街地から東松島市の旧矢本町市街にかけての石巻平野南部であるが、そのほぼ全域が浸水したことが確認できる。なお、このデータから推計した浸水地域の居住者数は約123,700人であった。2005年国勢調査による石巻市、東松島市、女川町の総人口は約221,000人であることから、その約56%の住居が浸水した可能性があることになる。また、そのうち約90,000人が石巻市の中心市街地周辺に居住していると推計された。一方、この方法では牡鹿半島など農山漁村部では町丁字のなかに非居住地域を広く含むため津波浸水地域の居住者が過小評価されてしまいう問題点があり、今回は石巻市のリアス海岸部についての推計値は400人不足となってしまった。データ利用において、このような点には十分な注意が必要となる。

続いて、事業所・企業統計調査の結果から、浸水地域と事業所（および従業者）の分布との関係についても推計を行った。ただし、事業所は居住者よりもさらに都市部に偏在しているため、郊外や農山漁村部では集計単位が広く設定されることが多く、それらの地域では推計がより困難になる。そこで、ここでは石巻市中心市街地周辺に関して推計を試みた。また当該地域における事業所従業者の密度分布を第 8 図に示した。



第 7 図 2005 年国勢調査による居住者分布と津波浸水範囲
(2005 年国勢調査・町丁字別集計データより作成)



第 8 図 事業所従業者の分布（2006 年）と津波浸水範囲
(2006 年事業所・企業統計調査・町丁字別集計データより作成)

4. プロセス・モデルを用いた評価マップの作成

ここでは、災害の視点からの津波危険度と、居住者あるいは開発の視点からの居住魅力度の 2 つに関して、プロセス・モデルを考える。プロセス・モデルでは、それぞれの視点の評価マップを作成するに際して、対象地域のいかなる景観要素でそのような視点を特定できるのかを考えることになる。なお、以下の GIS 分析では、カルトグラフィック・モデリングを簡便化するために、ラスタ地図を用いるが、土地利用 GIS データと合わせて、10m×10m の 10m メッシュをベースとして、再分類、重ね合わせ（オーバーレイ）、ラスタ演算などを行う。

1) 津波危険度

津波危険度の場合、標高や傾斜、さらには海岸線や河川からの距離が津波の危険度に影響すると考えられる。今回の大震災に伴った津波被害については、前章で用いた被害直後の空中写真判読から作製された津波浸水地域の GIS データを参考にすると、海岸線・河川からの距離に関しては、石巻平野とリアス海岸部の谷底平地において海岸線から 1km まではほぼ浸水し、石巻平野の河川が付近に無い地域では海岸線から 3km 程度まで浸水していること、その一方で付近

に河川がある地域では、海岸線から 7km 程度まで浸水していることがわかる。なお、仙台平野の仙台空港付近のように、周囲に大きな河川が無い地域でも最大 5km 程度浸水している場合もあることがわかる。

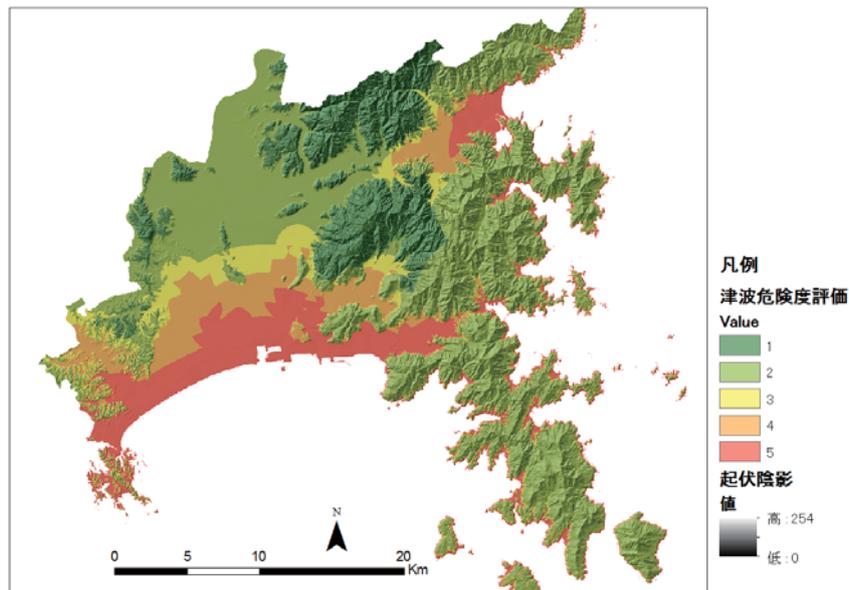
次に、標高に関しては、標高 20m でも浸水被害が見られる(特にリアス海岸部)が 30m を超えると浸水がかなり少なくなること、石巻平野では標高 5m を超える浸水地域の割合は小さいが三陸リアス部では標高 5~10m の割合が大きいこと、石巻平野の海岸から 2km 未満の地域では標高 5m 未満はほぼ浸水していることがわかる。

また、山地(急傾斜地)は海岸近くでも浸水範囲が広がりやすく、平地(緩傾斜地)は海岸から遠くまで浸水範囲が及びやすい傾向にある。そこで、ここでは標高 20m 以上かつ周囲 100m 内の傾斜平均値が 10%以上の地域を山地部(急傾斜地域)、それ以外を平地部(緩傾斜地域)と定義して、両者における海岸・主要河川からの距離の条件が津波危険度に及ぼす影響の重みを違えることにする。

以上のような状況を勘案して、ここでは、以下の 4 つの要素を津波危険度の評価マップの作成のためのプロセス・モデルに組み入れた。

- ① 海岸からの距離:0~1km【危険度 10、以下同様】、1~2km【8】、2~3km【7】、3~4 km【6】、4~5 km【5】、5~6 km【4】、6~7 km【3】、7km~【1】
- ② ①の【危険度 8】以下の地域の主要河川(河口から 7km 上流までの範囲内)からの距離: 0~700m【危険度 2 上昇、以下同様】、700~1500m【1】。なお、主要河川は、北上川、旧北上川(+支流の真野川)、鳴瀬川、定川、大沢川(万石浦)とする。
- ③ 標高:0~2.5m【危険度 10、以下同様】、2.5~5.0m【9】、5.0~7.5 m【8】、7.5~10.0 m【7】、10.0~20.0 m【5】、20.0~30.0 m【3】、30.0 m~【1】
- ④ 傾斜:山地部は海岸や河川からの距離が大きくなるにつれ津波浸水のリスクは急速に下がることから①と②の重みを3分の1、平地部は海岸や河川からの距離が大きくなってもリスクは下がりにくいと考えられることから①と②の重みを3分の2とした。

なお、具体的には、それぞれの要素の GIS データの地図を、当該の危険度になるように、再分類機能を用いてランク分けし、地図を重ね合わせて、ラスタ演算(この場合は地図の足し算)を行うことによって行われる。ここではまず①と②の地図を足し合わせ、さらに③を足し合わせる際に山地部では③の地図に2/3の重みを付け、平地部では①と②の合成地図に2/3の重みを付けた。本来はこれらの要素ごとの危険度の設定や重み付けはより慎重に検討されるべきで、それだけでも研究課題になりうるが、ここでは、作業プロセスの迅速性や明瞭性を重視してこのような評価マップの作成方法を採用した(第 9 図)。



第9図 津波危険度の評価マップ

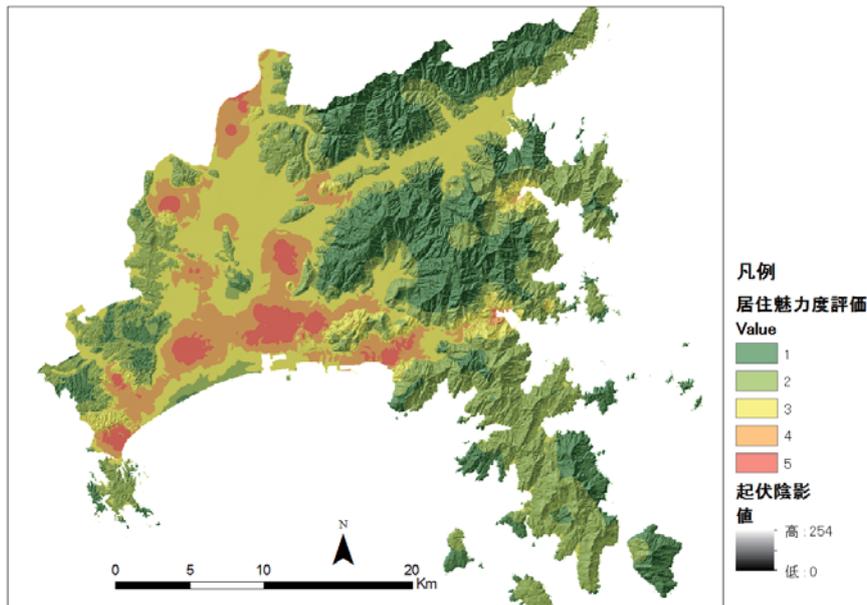
2) 居住魅力度

居住魅力度とは、居住者あるいは開発の視点からどのような場所が居住に適しているのかを示すもので、駅、幹線道路、商業施設などへの近接性や傾斜などを要素とするプロセス・モデルを作成してみることにする。なお、ここでは東日本大震災の起こる災害前の状態をもとに作成することにする。また、各要素の重み付けとして、合計が100%となるように合わせて設定することにする。

- ① 駅からの距離：鉄道駅は限られ、車の依存度が高い傾向になることから、重要度としての重み付けは10%とする。0～400m(徒歩5分以内)【魅力度5、以下同様】、400～800m(徒歩5～10分)【4】、800～1200m(徒歩10～15分)【3】、1200～2000m(徒歩15～25分)【2】、2000m～(徒歩25分～)【1】
- ② 幹線道路(幅員5.5m以上)からの距離：車の依存度が高いと考えられることから、鉄道駅の近接性の2倍の重み付け20%とする。0～400m【魅力度5、以下同様】、400～800m【4】、800～1200m【3】、1200～2000m【2】、2000m～【1】
- ③ 商業施設からの距離：商業施設として大型店・スーパーを特定し、重み付けを20%とした。0～400m【魅力度5、以下同様】、400～800m【4】、800～1200m【3】、1200～2000m【2】、2000m～【1】
- ④ 工業業地域からの距離：工場の近くは居住環境が良くないと想定し、工場から離れるほど居住魅力度が高いと想定し、重み付けは10%とした。0～400m【魅力度1、以下同様】、400～800m【2】、800～1200m【3】、1200～2000m【4】、2000m～【5】
- ⑤ 小・中学校からの距離：学校施設までの距離は子供の教育や地域コミュニティの中心的な役割を果たすことから、小・中学校に近いほど居住魅力度が高いとし、重み付けは10%とした。0～400m【魅力度5、以下同様】、400～800m【4】、800～1200m【3】、1200～2000m【2】、2000m～【1】
- ⑥ 公園からの距離：公園までの距離も居住魅力度が高い考え、重み付けは同様に10%とした。0～400m【魅力度5、以下同様】、400～800m【4】、800～1200m【3】、1200～2000m【2】、2000m～【1】
- ⑦ 傾斜：傾斜は日常的なバリアになりうるし、開発コストも高くなることから、居住魅力度の重要な要素の1つである。ここでは、当該の場所が緩傾斜地でも近隣に急傾斜地が存在すると不便を伴うので、周囲半径100mの範囲内の傾斜平均値を求めた。また、重み付けを20%とした。1%未満

【魅力度 5、以下同様】、1～5%（屋外のスロープ（車いす用）は 5%未満が推奨される）【4】、5～8%（バリアフリー法で屋外スロープは約 8%（1/12）以内の規定がある）【3】、8～10%（道路の勾配が 10%以上の場合には警戒標識が設置されることが多い）【2】、10%～【1】

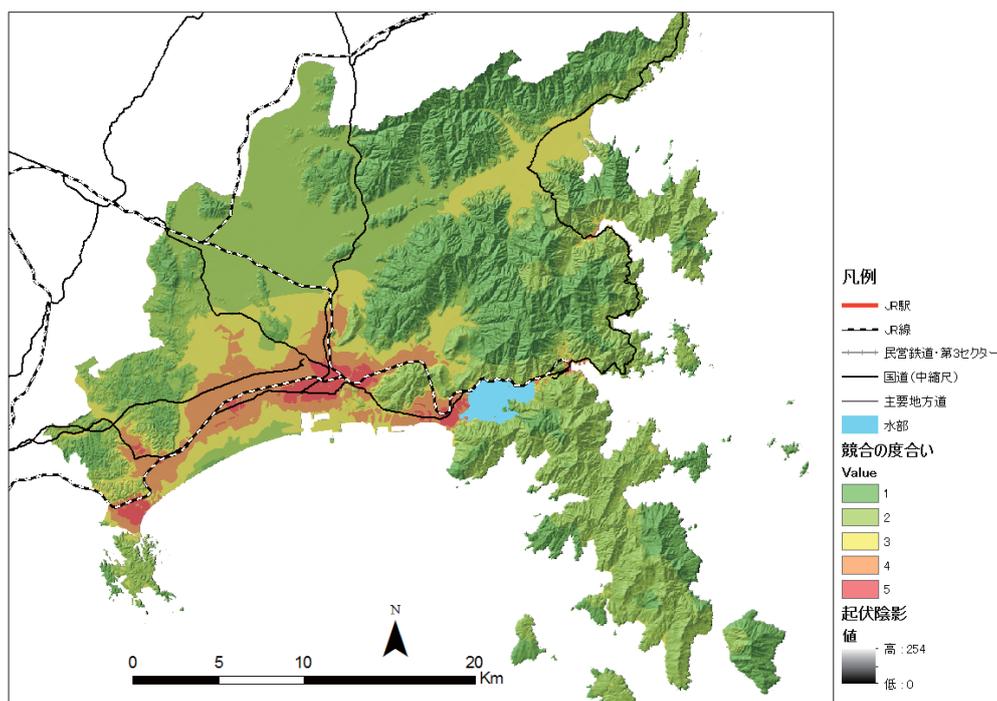
以上、居住魅力度に関わる 7 つの要素からプロセス・モデルを考えて、個々の要素の重み付け設定を基準に、津波危険度の評価マップの作成と同様に、再分類とラスタ演算を用いて、居住魅力度から見た 5 段階（等間隔分類）の評価マップを作成した（第 10 図）。



第 10 図 居住魅力度の評価マップ

3) 競合マップの作成

以上に作成した 2 つの評価マップを、GIS 上で重ね合わせることによって、津波危険度と居住魅力度の 2 つの評価の競合状況を、地図として表現することができる（第 11 図）。その競合状態の度合いは、第 4 表の組み合わせとして求めることができる。すなわち、理論上は、津波危険度 1～5 と居住魅力度 1～5 の 5×5 の組み合わせが考えられる。例えば、津波危険度が 5 で居住魅力度が 5 の地域（競合状態の度合いは 5）は、2 つの評価が衝突する地域で、津波危険度を認識したうえでの住宅開発となる。逆に、津波危険度が 1 で居住魅力度が 5 の地域は、津波の危険にさらされない住宅開発となるし、津波危険度が 5 で居住魅力度が 1 の地域は、住宅開発がそもそもすすめられない地域となる（競合状態の度合いは 1）。



第 11 図 津波危険度と居住魅力度の競合マップ

第 4 表 競合マップのランク分け

	居住魅力度				
津波危険度	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	1	2	3	3	3
4	1	2	3	4	4
5	1	2	3	4	5

競合マップでは、津波浸水被害の大きかった石巻市の中心市街地で、競合の度合いの高い地域が見られ、それ以外の場所では、両視点の競合がそれほど大きくないことが看取される。

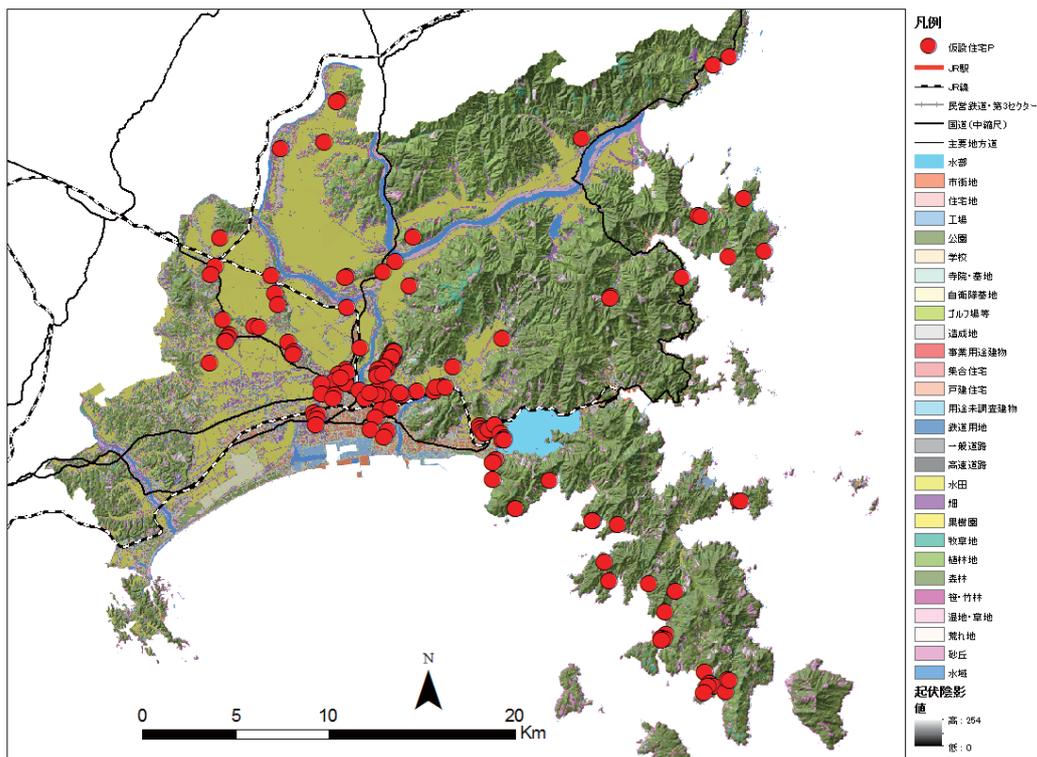
ここでは、津波危険度と居住魅力度の 2 つの視点のみを事例として取り上げたが、環境保全、歴史的文化保全などの開発による危険度の視点や、商業施設や工場施設に適した魅力度の視点など、さまざまな視点を加えていくことができる。

5. インパクト・モデルによる仮設住宅立地の適正評価

前章で作成した、災害の視点からの津波危険度と、居住者あるいは開発の視点からの居住魅力度の 2 つの評価マップを用いて、新たに設置する仮設住宅の配置を考えてみよう。GeoDesign の枠組みにおける 6 つのモデルの中の変化モデルとして、仮設住宅の計画を想定することになる。

石巻市では、震災後、2011 年 3 月末から 9 月までに、135 か所、延べ 7,297 戸数の仮設住宅が建設された。仮設住宅の建設には、用地取得やコミュニティの分裂の問題などが指摘されてきたが、ここでは、前章の津波危険度と居住魅力度の 2 つの視点から、GeoDesign の枠組みに則って、インパクト・モデルを実施する。

まず、石巻市の仮設住宅の空間的分布をみると(第 12 図)、津波被害地域内も含め震災前から市街地で相対的に利便性の高い場所に仮設住宅が建設されている傾向を看取することができる。



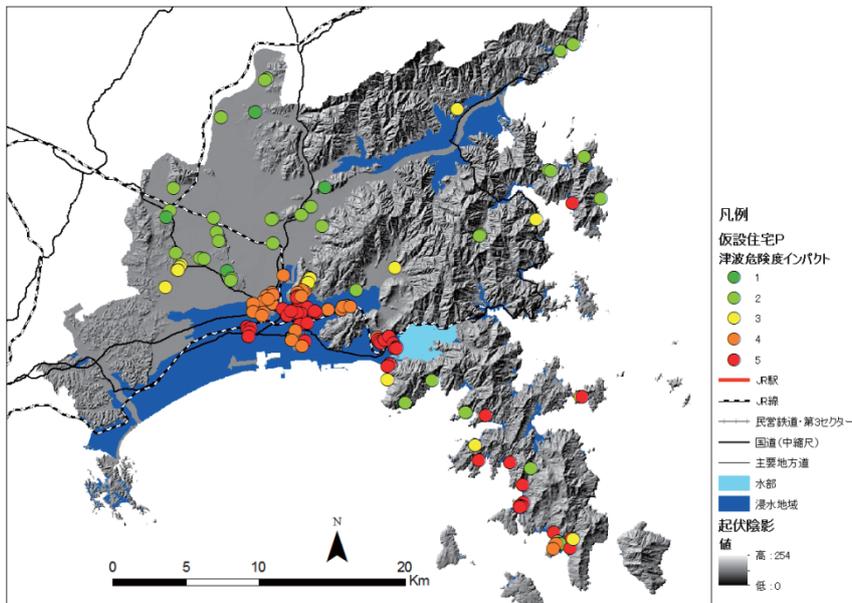
第 12 図 仮設住宅の空間的分布

第 5 表 インパクト・マトリックス

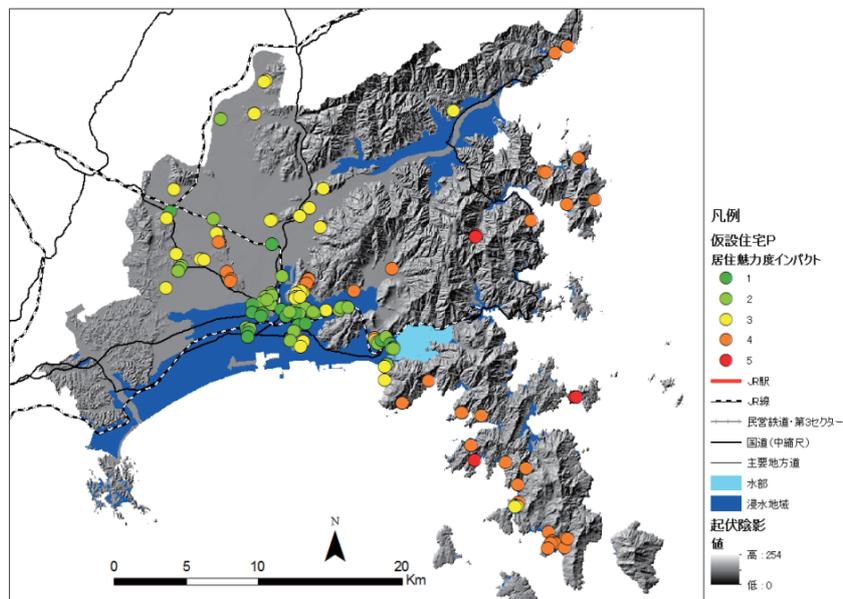
	1	2	3	4	5
津波危険度のインパクト	1	2	3	4	5
居住魅力度のインパクト	5	4	3	2	1

る。津波危険度と居住魅力度のそれぞれの視点から、仮設住宅の立地が適切であるか否かを見るために、仮設住宅の GIS データと津波危険度と居住魅力度の評価マップを重ね合わせることにする。その際、第 5 表のようにそれぞれの視点からのインパクトを定量的に把握するためにインパクト・マトリックス作成する。例えば、津波危険度が 5 の場所に仮設住宅が立地すると、そのインパクトは非常に大きく、その危険度が 1 のところに仮設住宅が立地すればそのインパクトはないと考えられる。また、居住魅力度の視点からは、その魅力度が高い場所に仮設住宅が立地すれば、適切であることからインパクトは少ないと考えられるが、逆に、魅力度が低い場所に仮設住宅が立地すれば、不適切でインパクトは大きいと考えることができる。そのインパクトをインパクト・マップとして空間的に明らかにすることができる(第 13 図)。ここでは、仮設住宅の 141 のポリゴンの中心代表点での、津波危険度と居住魅力度から、当該の仮設住宅のインパクトを地図化している。津波危険度が 5 で居住魅力度が 5 の競合している仮設住宅は 12 箇所あり、居住魅力度が 5 で津波危険度が低い仮設住宅は限定的である(津波危険度 1 は 0 箇所、危険度 2 は 2 箇所)。

現実問題としては、仮設住宅の用地取得など様々な課題があり、今後は、これら 2 つの視点以外の視点の評価マップを加え、多角的にインパクトを比較する必要がある。GeoDesign の枠組みを用いることによって、将来計画に関わる意思決定において、何がどの程度問題となっているのかを定量的に、そして地図を通して空間的に理解できるようになる。



a) 津波危険度インパクト



b) 住宅魅力度インパクト

第 13 図 仮設住宅のインパクト・マップ

GeoDesign では、第 1 図に示した 6 つのモデルが、GIS で作成される地図を通して実施されるが、近年では、地域をより理解しやすいように、2 次元の地図だけでなく、3 次元地図として表現することもできるようになった。仮設住宅や新たな新規住宅開発の地図化には、建物の 3 次元モデルを取り込んだ 3 次元地図表示がより効果的なものとなるであろう(山村ほか、2012)。

5. おわりに

本研究では、これまで環境保全と開発が衝突しあう地域の将来計画の策定方法として、ハーバード大学の Steinitz 教授が考案してきた GeoDesign を、東日本大震災の復興計画に活用する可能性を、甚大な津波被害を受けた石巻地域の復興計画を支援できる GeoDesign のシステム構築を目的とした。

そこで、石巻市に関する入手可能な政府や民間の GIS データを収集し、GeoDesign の基礎となる土地利用 GIS データを作成し、津波危険度と居住魅力度の視点のプロセス・モデルと評価マップを作成した。さらに、変化モデルの事例として、実際の仮設住宅の立地における津波危険度と居住魅力度の視点からのインパクトをインパクト・マップとして地図化し、仮設住宅に適性を提示した。

2011 年 12 月に『石巻市災害復興基本計画－最大の被災都市から世界の復興モデル都市石巻を目指して－絆と協働の共鳴社会づくり』(石巻市、2011) が策定された。この災害復興基本計画では、基本的な考え方として、「災害に強いまちづくり」「産業・経済の再生」「絆と協働の共鳴社会づくり」の 3 つの基本理念を据え、概ね 10 年間の計画期間をおいた。そして、復旧期(2011～2013 年)、再生期(2014～2017 年)、発展期(2018～2020 年)の 3 つの段階での復興計画が掲げられ、膨大な復興事業を迅速かつ着実に執行していくために「産学官民の協働による体制づくり」がうたわれている。

どこに、どのような新たな住宅開発を行うか、学校等公共施設をどのように配置するのか、あるいは基幹産業である水産業・水産加工業をどのように復興するのか、また、幹線道路などの基盤整備をどのように実施するのか、復興計画は、空間的な意思決定の連続となる。さらに、非可住地区や、高台等への集団移転の具体的な線引きは、今後の利害関係者間の調整が必要である。

空間的な意思決定に際しては、空間的なスケールに注意しながら、地図を通して結果やそのプロセスを可視化して、利害関係者が情報を共有することが不可欠である。また、計画を理解し、評価し、必要に応じて変更する際にも、地図化された情報は不可欠な根拠となる。そのための枠組みとして、GIS を活用した GeoDesign の枠組みは、石巻地域の今後 10 年間の具体的な復興計画の策定の中で起こりうる、さまざまな時間スケールと空間スケールでの、選択的な意思決定過程において、きわめて有効な手法として活用されることが期待される。

参考文献

- 石巻市:『石巻市災害復興基本計画－最大の被災都市から世界の復興モデル都市石巻を目指して－絆と協働の共鳴社会づくり』、石巻市、2011、125 頁。
(http://www.city.ishinomaki.lg.jp/reconst/re_const_4_2_2_3.jsp)
- C. スタイニッツ編著、矢野桂司・中谷友樹共訳:『地理情報システムを用いた生物多様性と景観プランニング』、地人書房、1999、181 頁。
- 矢野桂司:「ハーバード大学 GSD の GIS を用いた景観プランニング」、ランドスケープ研究 64-3、2001、212～215 頁。
- 山村浩之・安東正純・満福講次・平部敬士・塚本章宏・磯田弦・仲田晋・田中覚・矢野桂司:「津波被災地域における復興支援のための 3 次元都市モデル自動生成ツールの開発」、情報処理学会第 74 回全国大会(学生セッション)、2012、(印刷中)。

補遺1 石巻地域の GeoDesign のための GIS データ一覧(2012 年 2 月現在)

- 1) 基盤地図情報数値標高モデル(10m メッシュ)
国土地理院が Web サイトを通じて提供しているデータ。これを基に、10m メッシュの標高ラスタ・データおよび、地形陰影起伏ラスタ・データ等を生成した。
- 2) 基盤地図情報 2500 および 25000
国土地理院が Web サイトを通じて提供しているデータ。このうち多くのデータが前出の ArcGIS データ

- コレクションにも収録されている。
- 3) 数値地図 25000(空間データ基盤)
過去に国土地理院が Web サイトを通じて提供していたデータ。25000 分の 1 地形図の行政界や道路・鉄道線、地名などラインおよびポイント情報を中心にデジタル・データ化したもの。
 - 4) 自然環境保全基礎調査
環境省自然環境局生物多様性センターが Web サイトを通じて提供している、植生調査の結果(植生図)のベクタ・データ。第 1 回(1973 年度)～第 5 回(1994～1998 年度)の調査結果が 50000 分の 1 精度の植生図に、第 6 回(1999～2004 年度)・第 7 回(2005 年度～)の調査結果が 25000 分の 1 精度の植生図にまとめられている。
 - 5) 国土数値情報
全国総合開発計画などの国土計画の策定・推進のために、国土に関する様々な空間情報を数値化したデータで、国土交通省が 2001 年から Web サイトを通じて提供している。JPGIS 準拠データと国土数値情報統一フォーマットのデータの 2 種があり、現在は主に前者の形式で整備・更新されている。前者の形式のデータのうち、対象地域を含むものについては全て収録した。また、後者の形式のデータについては、前者形式で提供されていない商業統計、工業統計、農業センサスに係るメッシュ・データのみ取得した。
 - 6) 津波浸水範囲土地利用メッシュ中心経緯度データ
国土地理院が現在 Web サイトを通じて提供している東日本大震災関連のデータの 1 つ (<http://www.gsi.go.jp/chirijoho/chirijoho40022.html>)。上記の国土数値情報の 1 つである土地利用細分メッシュ単位で津波浸水地域をデータ化したもの。
 - 7) 平成 22 年国勢調査・小地域集計データ
「政府統計の窓口」公表分
 - 8) 空中写真 TIFF データ
2002 年 10 月 17 日 国土地理院撮影。縮尺 30000 分の 1 のモノクロ写真 13 枚
 - 9) 旧版地形図 TIFF データ
国土地理院が過去に発行した 25,000 分の 1、50,000 分の 1、200,000 分の 1 の地形図画像を幾何補正し、位置情報が付与されたもの。表 1 に購入したデータの一覧を示した。
 - 10) 数値地図 2500(空間データ基盤)「東北-2」
2,500 分の 1 の都市計画基図および国土基本図をベースとした行政界、道路線等の都市レベルの基盤データ。
 - 11) 数値地図 25000(地図画像)「石巻」
国土地理院が刊行している、25,000 分の 1 地形図のデジタル画像版。
 - 12) 数値地図 50000(地図画像)「宮城・山形」
国土地理院が刊行している、50,000 分の 1 地形図のデジタル画像版。
 - 13) 数値地図 200000(地図画像)「日本-II」
国土地理院が刊行している、200,000 分の 1 地形図のデジタル画像版。なお、上記 11)と 12)は幾何補正を行い、位置情報を付与して GIS データ化した。
 - 14) Zmap TOWN II「石巻市」「女川町」
ゼンリン住宅地図のデジタル・データ
 - 15) ArcGIS データコレクション
ESRI ジャパンが販売している日本全国を対象に国土骨格の基盤地図データを網羅したデータ・セットである。上記の数値地図 2500(空間データ基盤)や、後出の基盤地図情報 2500、国土数値情報などのデータをベースに作成されている。なお、このデータ・セットで利用可能な地図情報は表 1 に示す通りである。
 - 16) GISMAP for Road
北海道地図が販売する全国の道路データ。主要道路には設置・管理者、幅員、車線数、規制速度等の属性情報が収録されている。
 - 17) 数値地図 25000(土地条件)
土地条件調査の成果に基づいて、地形分類(山地・丘陵、台地・段丘、低地、水部、人工地形など)別にベクタ・データ化したもの。
 - 18) 国勢調査・小地域集計データ
1995 年、2000 年、2005 年の国勢調査結果の町丁字別集計、および 2000 年国勢調査結果の基本単位区別集計データ。
 - 19) 地域メッシュ統計・国勢調査
1975 年、1980 年、1985 年、1990 年、1995 年、2000 年、2005 年の国勢調査結果のメッシュ・データ。1975～1985 年は 1km メッシュのみ、1990 年以降は 1km メッシュおよび 500m メッシュ。
 - 20) 事業所・企業統計調査・小地域集計データ
1991 年、1996 年、2001 年の事業所・企業統計調査の町丁字別集計データ。