

B-10 地球温暖化による海面上昇などの影響予測に関する研究

(1) 海面上昇が海岸及び低地の土地条件に与える影響予測に関する研究

研究代表者 建設省国土地理院地理調査部地理第二課 金子純一

建設省国土地理院

地理調査部 地理第二課 小野塚良三・内川講二・永山透・大塚力・稲澤保行
(委託先)

東京大学生産技術研究所

第5部 柴崎亮介

平成5-7年度合計予算額 45,217千円

(平成7年度予算額 14,768千円)

[要旨] 地球の温暖化にともなう海面上昇が懸念されている。IPCC（気候変動に関する政府間パネル）の第2次評価報告書サマリーによれば、紀元2100年までに数十センチ程度の海面上昇が全世界で起こるとしている。さらに、海水が熱平衡にいたる応答速度が遅いため、2100年以降も海面上昇が持続すること、また海面上昇量の予測の精度が高くないため、場合によってはこの予測以上の上昇も起こりうるということが指摘されている。

海面上昇が起こることで、全世界の沿岸低地では洪水や高潮の頻発、それから湿潤化や塩水侵入がおこるとされている。都市部等では防御施設などの建設により現在の土地利用を守ることはおそらく可能である。しかし、それ以外の地域では海面上昇の浸水域からの撤退も避けられないだろう。

当研究では、日本の新潟平野およびタイのバンコク地区を対象にして、1メートルの海面上昇が起こった場合を想定し、浸水域の範囲を推定した。さらに、海面上昇に付随する低地の地下水位、河川水位の上昇、塩水の内陸への侵入などについて予測し、それらが地域の土地利用に与える影響を土地利用の適性を把握することによって見積もった。さらに、浸水域の土地利用を代償するかたちで、土地利用の適性に合ったかたちでの土地利用の配分を行った。

当研究は海面上昇による影響への対応として、土地に備わった適性を生かしつつ、沿岸域の土地利用の再配分を試みた例であると位置づけられる。

[キーワード] 海面上昇、土地利用、沿岸域、新潟、バンコク

1 はじめに

1.1 海面上昇について

人間活動による温室効果ガスの排出増大がもたらす地球の温暖化は、全世界的な海面上昇を今後数世紀以上にわたって引き起こすとされている。IPCC（気候変動に関する政府間パネル）の

1992年のシナリオのモデルによると、西暦2100年までの海水面上昇量は、15センチから95センチの範囲で推定されている(IPCC,1996)。海水面上昇が起こるメカニズムとその影響についての概論はWarrick et al. (1993) に詳しい。また海水面上昇で考えられる影響については図1に模式的に示した。

海水面上昇の影響と対策に関して記すべき点として、全世界の沿岸地域の状況は様々であるので対策についても地域的な多様性が要求されることが挙げられる。例えば、資産、人口の集中している都市部や先進国では、海水面上昇に対しては堤防やポンプ場などの防御施設の建設、あるいは系統的な地盤のかさ上げで対処することが可能であろう。一方、それ以外の地域については防御施設の建設コストに見合うだけの資産がない。このような地域では、浸水地域を放棄せざるを得ないので、沿岸域の空間利用のありかたを根本的に変更することが必要となる。

1.2 本研究の手法について

本研究の流れを、図2に示す。調査地区は日本の新潟平野と、タイのバンコク地区を選んだ。研究としては以下の4つの段階に分かれる。

- 1) 研究の分析のため、これらの地域の基礎的な情報を収集し、数値化した。
- 2) 海水面上昇によって変化を受けることが予想される土地条件項目について把握した。当研究では、土地条件とは土地利用の適性を制約する条件のことと定義する。
- 3) 地域を構成する土地利用種の適性を左右する土地条件を考え、これらの土地条件の要素を用いて、土地利用の適性を与える式を与えた。
- 4) 海水面上昇が1m起こった場合における土地利用適性の分布を把握し、現行の土地利用分布との比較、それから海水面上昇に対応した土地利用配置についてシミュレーションを行った。

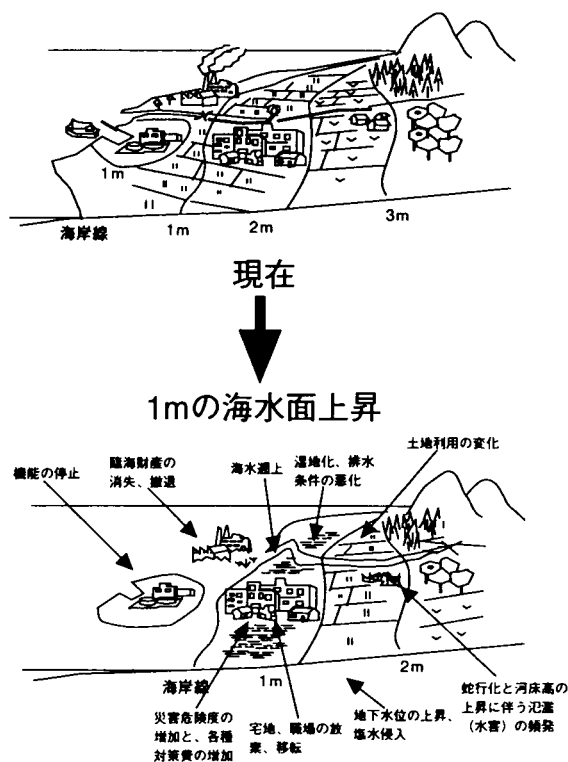


図1 海水面上昇の影響模式図

具体的な手法については各研究地区の事例で述べているので各事例研究を参照されたい。
なお当研究は、地域環境の未来における保全を

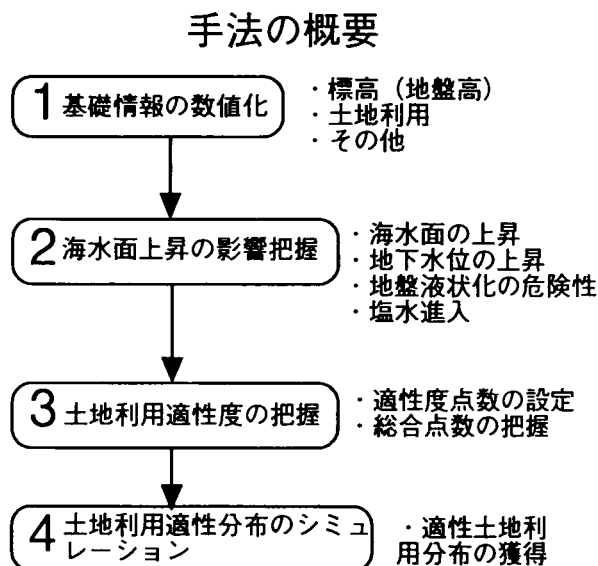


図2 本研究の手法の概要

可能にするため、その地域の空間利用の方向性（土地利用のあり方）を射程に入れてその影響を把握することが重要であるという考え方に立っていることを付記しておく。

2 新潟平野東部地区の事例

2.1 新潟平野東部について

新潟平野東部地区は図3に示すものである。研究地域として新潟平野東部を選んだ理由は以下の三つである。1) 低地が広く存在していること、2) 地下水位の推定、地盤液状化の危険性の推定、地盤高の把握のためのデータが比較的そろっていること。3) 都市的土地利用と、農村的土地利用がバランスよく分布している。

2.2 研究手法

研究の流れを図4に示す。第1段階では、基礎的情報を把握した。第2段階では、海面上昇によって変化が予想される土地条件項目を推定した。第3段階では、土地利用の適性度を把握した。第4段階では、前段階で得られた各土地利用の適性度の得点に基づき、海水面が1メートル上昇した場合における海面上昇の土地利用の最適配置のシミュレーションを行った。以下、各段階について報告する。なお以下に報告する地理的情報については、計算機で処理するため、縦749列横866列のラスタデータで用意した。これは1ピクセルあたり実寸の25メートル四方に相当する。

2.2.1 基礎的情報の把握

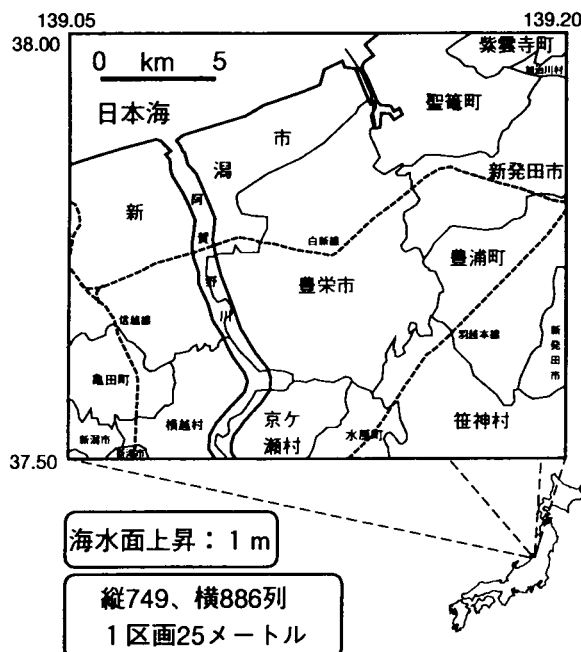


図3 新潟平野東部地区

もっとも基本的な情報は地盤高である。当地域の場合は1) 国土地理院発行の土地条件図「新潟」「新発田」に記載されている1メートルおきの等高線、2) 都市計画図に記載されている独立

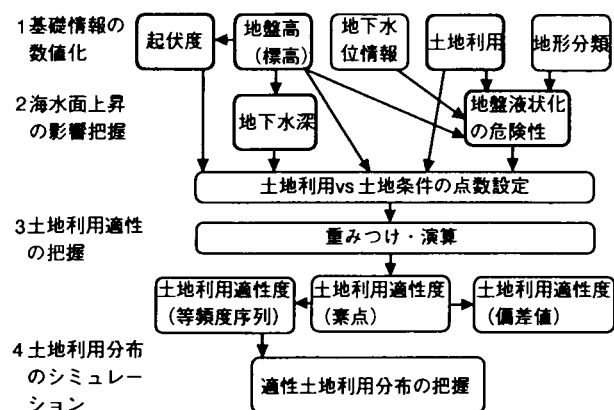


図4 新潟平野東部地区の手法

標高点、3) 国土地理院発行数値地図「天王」を用いて地盤高の情報を把握した。図5に地盤高を示す。

土地利用も基本的な情報である。土地利用の項目はその後の分析を単純化するため、住宅地/商業地(人間活動系で居住の側面が強いもの)、工業/運輸地(人間活動系での業務の側面が強いもの)、畑(乾性耕作地)、田(湿性耕作地)、水域及びその他(森林、荒地など)の6項目に分類した。土地利用情報は、国土地理院発行の土地利用図、それから最新の地形図を用いて数値化した。図6には土地利用図を示した。

その他に、地形の起伏度、その後の分析に用いるための地形分類情報(国土地理院発行土地条件図「新潟」「新発田」)、1965年の新潟地震の時ににおける噴砂、地割れの分布(建設省国土地理院,1965) および、自由地下水位情報等を収集した。



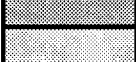






図5 新潟平野東部地区の地盤高

2.2.2 海面上昇の影響の把握

海面上昇の影響項目として、海面自体の上昇による地盤高(標高)の相対的低下が基本的であるが、新潟平野東部地区では、海面上昇にともなう沿岸地域の地下水位の上昇、それから地下水位の上昇にともなった地震による地盤液状化の危険性の変化について



| Land use | |
|---|----------------------------|
|  | Residential/ Commercial |
|  | Industrial/ Transport |
|  | Dry field |
|  | Paddy field |
|  | Water |
|  | Others |
|  | Inundated area |

present

図6 新潟平野東部地区の土地利用

て推定を行った（図4）。地下水位上昇の推定は平成5年度に、それから、液状化危険性の変化については平成6年度に行った。

地下水位の上昇については、標高（地盤高）を平滑化してならしたものと自然地下水位の回帰関係を決定し、海面上昇後の地下水位を推定する手法により海面上昇後の地下水位を推定した。

地盤液状化の危険性の変化の推定については、新潟地震時の噴砂・地割れの調査の記録（国土地理院,1965）を教師データとして、地盤高、土地利用、地形分類、地下水位を説明変数にしたニューラルネットワークを用いて得た。

2.2.3 土地利用の適性度の把握

新潟平野東部地区では、土地利用の適性度を決定する土地条件として、土地利用、地盤高、地下水位、起伏度、地盤液状化の危険性の5種類を選んだ（図4）。

次に土地条件と土地利用の適性の関係を、現地調査、それからいくつかの資料などをもとに、図7に示すような土地利用の適性度に関する得点を当研究で与えた（図7）。

図7のグラフでは、例えば地盤高について見てみると、住宅/商業地の場合、1メートル以下であると洪水、高潮の危険性があるので0点、地盤高1メートルから3メートルまでは0点から100点に配点し、3メートル以上の時は、100点とした。また、現行土地利用の項目に関する点数であるが、これは横軸上に示した5種類の土地利用から、考察する4種類の土地利用（凡例参照）への転用に関する点数を示している。例えば、一番左の住宅地であるが、住宅地として維持することは、環境の維持、影響の緩和の観点より好ましいと考えられるので、100点、それから、

住宅地から工業地への転用はそれに準じ80点とした。以下、住宅地より畑は50点、住宅地より田は、1）整備にあらかじめ大きなコストがかかること、2）現在住宅地として成り立っているところは田としては適正が低いので30点としている。畑、田、その他土地利用より住宅地への転用は現在における住宅地の近接の度合いに応じて、幅を持たせた。

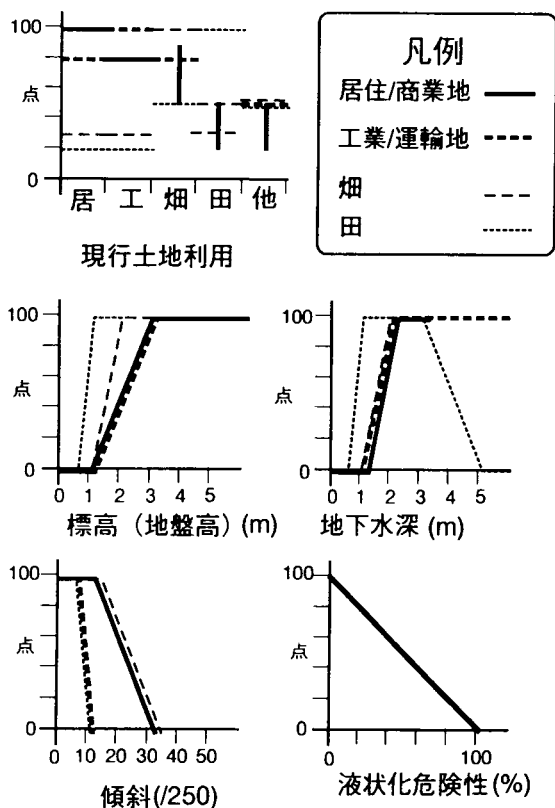


図7 土地条件の点数付け

| 土地利用項目 | 住宅/商業 | 工業/運輸 | 畑 | 田 |
|-----------|-------|-------|----|----|
| 現行土地利用 | 25 | 35 | 35 | 20 |
| 地下水深 | 25 | 25 | 20 | 30 |
| 傾斜 | 25 | 20 | 25 | 35 |
| 地盤液状化の危険性 | 25 | 20 | 20 | 15 |

表1 それぞれの土地利用における各土地条件の重み

次に総合的な土地利用の適性度を得るために、それぞれの土地条件に関する点数を総合した、それぞれの土地利用において、土地条件の種類的重要性は異なると考えられるため、表1に示すような重みを考えた。また式としては以下のように与えた。

$$\text{総合点数} = ((\text{土地利用点数} \times \text{土地利用重み}) + (\text{地下水深点数} \times \text{地下水深重み}) + (\text{起伏度点数} \times \text{起伏度重み}) + (\text{液状化危険性点数} \times \text{液状化危険性重み})) \times \text{地盤高点数}$$

地盤高の点数を乗算項に置いたのは、海面上昇の影響を免れるために十分な地盤高を有することが必須と考えられるからである。図8はこのようにして住宅/商業地としての土地利用の適性度を示した図である。現在低地である部分は大部分が0点になる。また相対的に現在住宅地の部分が点数が高くなる。この評価では新発田市市街とその周辺が高い点を得た。

2.2.4 適性土地利用分布の把握

前項までで、各土地利用の適性度（以下素点とする）を把握した。この素点を用いて、海水面が1メートル上昇した場合の適性土地利用分布の把握を行った。手法としては、現行の土地利用



図8 住宅/商業地の土地利用適性度

面積の比率に応じて、各土地利用の適性度のうち点数が一番高い順より地域に割り付ける方法を取った。この方法では、政策的に優先させる土地利用はなく、適性度が高い場所から順に土地利用を割り付けて行くものである。ただし条件として、1) 割り付ける部分は水域以外の部分、2) 土地利用の配置移動は研究地区内で行うのでこの点に関して閉鎖系である、3) 海面上昇によって水没する部分は水域とする。

しかし、素点を用いると、全体的に高い得点分布を持つ土地利用が優先的に配置される。そこで、さらに2種類の得点分布を考えた（図9）。ひとつは、素点の得点を標準偏差を用いて50点を中心として規正するものである。これによる点数は一つの土地利用について、ある場所がもつ得点の希少性の程度を表すことができるが、各土地利用のヒストグラムの形状は等しくないので、公平な配分ができない。もう一つは、適性度の点数が高い順に100点から0点

| 名前 | 適性度 (素点) | 適性度 (偏差値) | 適性度 (等頻度序列) |
|------------------|------------------|----------------------|------------------------|
| 土地利用の配分からみた点数の特徴 | 点数が高い土地利用が優先的に配分 | 点数分布のヒストグラムによる配分の不均等 | 序列の順番と頻度を等しくしたので配分は均等に |
| ヒストグラムの形状 | | | |

図9 適性度の種類と特徴

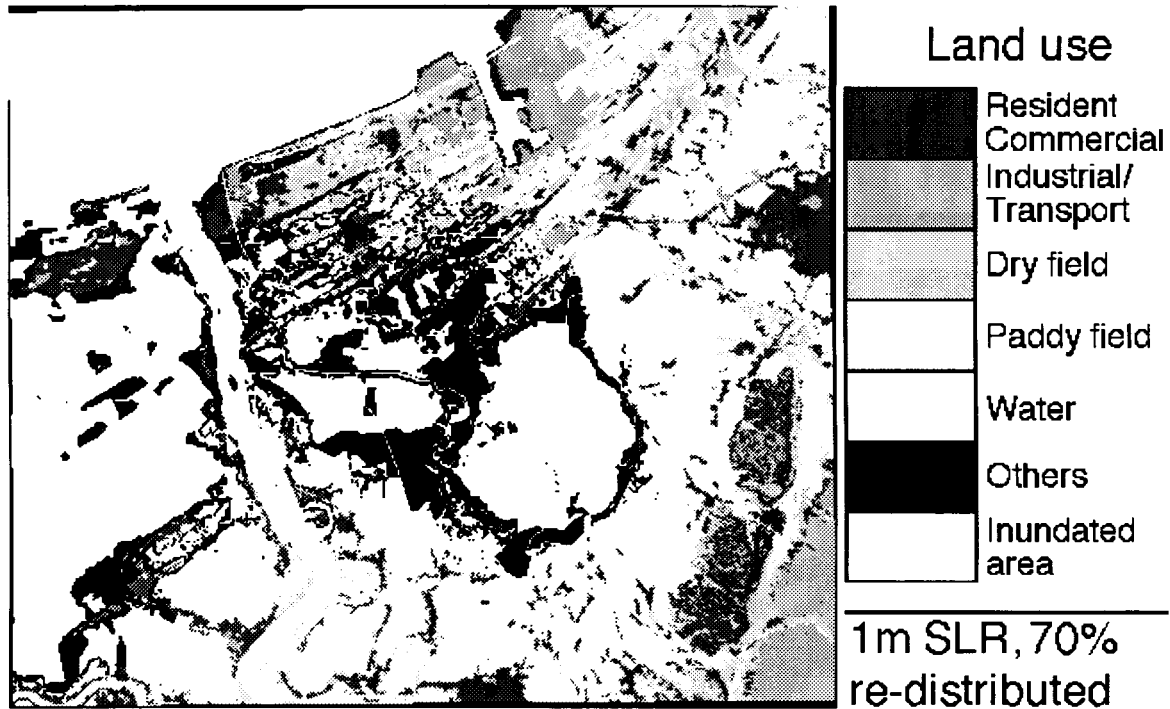


図10 海面上昇1メートル時の適性土地利用分布（土地利用需要70%を仮定）

までを等頻度に割り付ける方法を考えた。これを用いると、得点分布が等しいので公平な配分が期待できる（図9）。以後等頻度得点を用いて、土地利用の再配分を行った。

図10には、このような方法で土地利用を割り付けたものである。図10では、今後日本の人口は減少傾向にあることに鑑み、それに応じた土地利用需要も70パーセントになるものとして仮定している。図6と比較すれば明らかなように、1）現在の干拓地などの低地の部分は水没する。2）低地は広い部分は水田になる3）低地の自然堤防に立地する集落は田になる。4）工業地は山地に分布するものもある。また、どの土地利用においても適性度の得点が低いため、割り付けられなかった場所が生じる。そのような場所にはその他、つまり未利用地として割り付けた。海岸部であるため湿地、ラグーン化するであろう。

2.3 問題点

問題点として、1）土地利用の適性度を決定する条件としての土地条件項目の設定、2）海面上昇の影響項目の改良、3）その点数評価、4）適性度の総合的点数の把握法、5）土地利用の割り付けと配分の手法が挙げられる。

1）については、現在自然条件、あるいは自然条件というべき土地条件項目を用いており、社会経済的、法制的条件の適用は行われていない。地域計画を策定する際にこれらの条件も考慮に入れることは必須であるので、今後の手法の改良にあたっては、重要と考えられる土地条件の抽出と取り扱いにも配慮が必要になる。

2）については、まず、海面上昇の影響項目として、塩水遡上、それから、内陸域の水位まで上昇が及ぶ背水効果について考慮しなかったが、今後考慮に入れることが期待される。

3）については、土地条件項目の個々の要素に対して一定の関係（線形関係）で点数に換算し

てきた。今回取った手法では、住宅地への転用についてのみ、既存住宅地からの近接度の度合いに応じて点数をつけたが、今後より現実的な土地利用の点数を得るためにはより高度なアルゴリズムを有するような点数評価手法も必要と考えられる。

4) に関しては、今回取った手法ではそれぞれの土地利用ごとの重みに点数を掛け合わせた和を地盤高にかけるという単純な手法を取った。これも乗算する土地条件、和算する土地条件については試行の繰返しで調整することが必要になるであろう。

5) については、今回どの土地利用についても、その需要については現行の土地利用面積の比と同じと仮定し、政策的選好性については考慮しなかったが、地域の生活、環境の維持という観点から、特定地区の海水面上昇からの保護、など地域的な細かいプランを織り込んでいくことが地域の多様性を反映するために必要となる。

3 タイ国バンコク地区の事例

3.1 タイ国バンコク地区について

タイ国バンコク地区は図11に示すとおりである。バンコクはタイ国の首都であり、人口は600万を超える。バンコクは地域全体がチャオプラヤ川のデルタ地帯に位置しており、地域全体の地盤高が0~3メートルの低平な地域になる。毎年雨期の後半になると、チャオプラヤ川があふれだし洪水に見舞われる。地域には中央部にバンコクの中心街がある。また南北にチャオプラヤ川が流れている。研究地域としてバンコク地区を選定した理由は以下である。1) 地域全体が低平であり、海水面上昇に対して脆弱であること。これについては浸水域の範囲は国土地理院(1991)で示されている。2) 基本的なデータである標高データが利用できること、3) 都市的土地利用と周辺地という配置があることである。

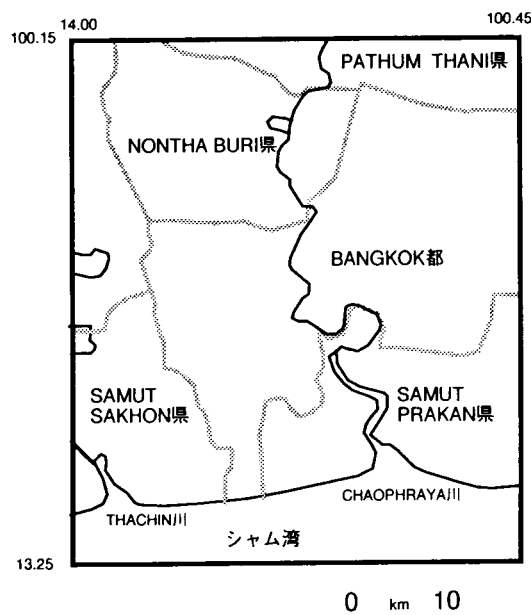


図11 バンコク地区

3.2 研究手法

研究の流れを図12に示す。大きくは新潟地区と同じく以下4段階に分かれる。1) では基礎的情報の把握を行った。2) では、海水面上昇によって変化が予想される土地条件項目の推定をした。3) では、現

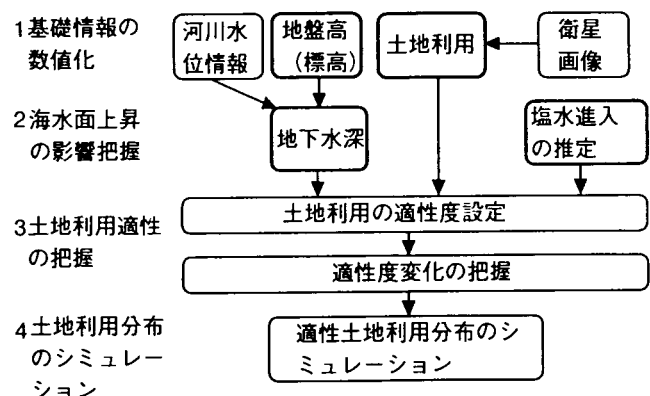


図12 バンコク地区の手法

行の土地利用についての海面上昇による土地利用の適性の変化を把握した。4)では、海水面が1メートル上昇した場合における浸水域の土地利用の再配置を行った。以下に報告する地理的情報については、計算機にて処理するため、縦643列横540列のラスターデータで用意した。これは1ピクセルあたり実寸の100メートル四方に相当する。

3.2.1 基礎的情報の把握

バンコク地区の地盤高の情報は、5万分の1の地形図を数値化して得た。

土地利用については、ランドサットからの衛星画像を用いて専門家による判読で得た。図13に土地利用画像を示す。

3.2.2 海面上昇の影響の把握

バンコク地域においては、海面上昇の影響のうち、1)海面上昇にともなう河川水位及び地下水位の上昇、2)塩水遡上の影響を推定した。

1)については、まずチャオプラヤ川沿いのいくつかの観測所における、潮位変動にともなった水位変動をもとにして海面上昇1mにおける地下水位の上昇を推定し、地下水深分布図を得た。

2)についてはまず実測と文献資料を用いて、現在における塩分濃度の分布を推定した。つぎに、海面上昇1メートル時の海岸線の平均後退距離の分だけ塩分濃度分布を陸側にシフトして海面上昇1メートルの時の塩分濃度分布を推定した。

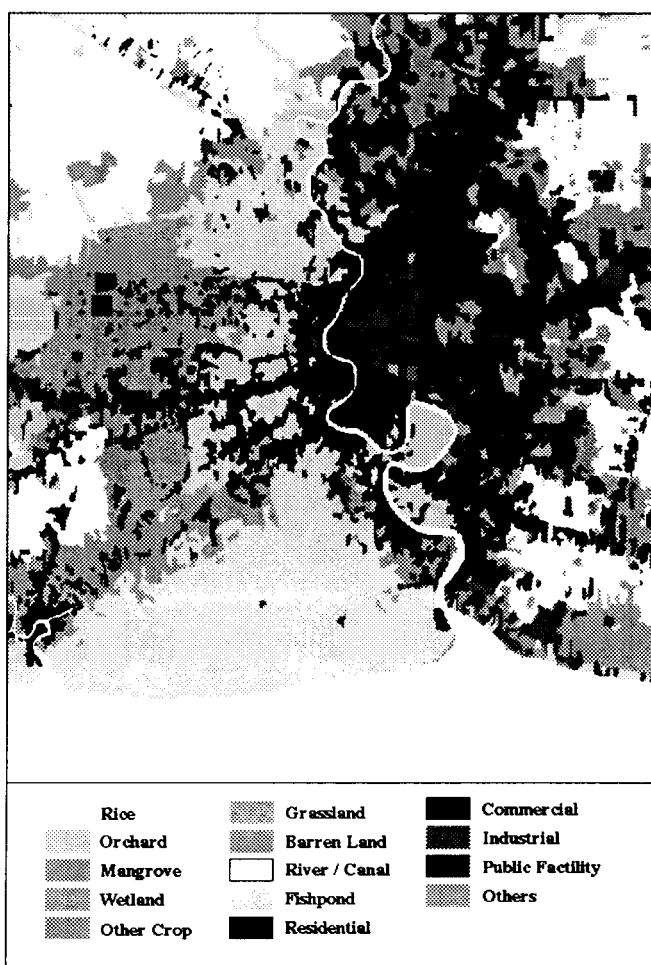


図13 バンコク地区の土地利用

3.2.3 土地利用の適性の変化

地下水深が浅いと湿潤化する。前項で得られた地下水深について各土地利用について最適、適、不適の3つに分類した。例えば、図14は現在における住宅地の適性の状況を示している。これによれば現在においても、地域南部の部分は居住地としては不適切であることを示しており、この地域では住宅地として良好な環境を実現するためには、堤防などで守られること、充分な量の盛土やあるいは高床化をすることが必要であることが考えられる。また図15については海水面が1メートル上昇したことを仮定

した住宅地の適性について示した。この図によれば地域の殆どにおいて対策が必要であることを示している。

また、塩水遡上の影響であるが、海水面が1 m上昇した場合地域の水田の殆どが収量減少の影響を受けることが明らかになった。

3.2.4 土地利用の再配分について

海面上昇1メートルを想定した場合においてもバンコク地区はかなりの部分において浸水が予想される。今回はこの浸水が予想される部分に関して、内陸に移転させる想定で土地利用の配置に関するシミュレーションを試みた。手順としては以下である。

- 1) 各土地利用の浸水面積を把握する
- 2) 公共地の浸水した面積分を現在の公共地に隣接するような形で地盤高の高いところから順次配置させる。
- 3) 商業地の浸水した面積分、および他の土地利用の配置によって減少した面積の分について現在の商業地に隣接するような形で地盤高の高いところから順次配置させる。
- 4) 以下、住宅地、工業地、果樹園、畑に関して3) に示した手順を繰り返す。
- 5) 地盤高0.4メートル以下の部分は養殖池にする。

図16にはそのようなシミュレーションによって得られた土地利用配置を示した。



図14 住宅地の適性（現在）

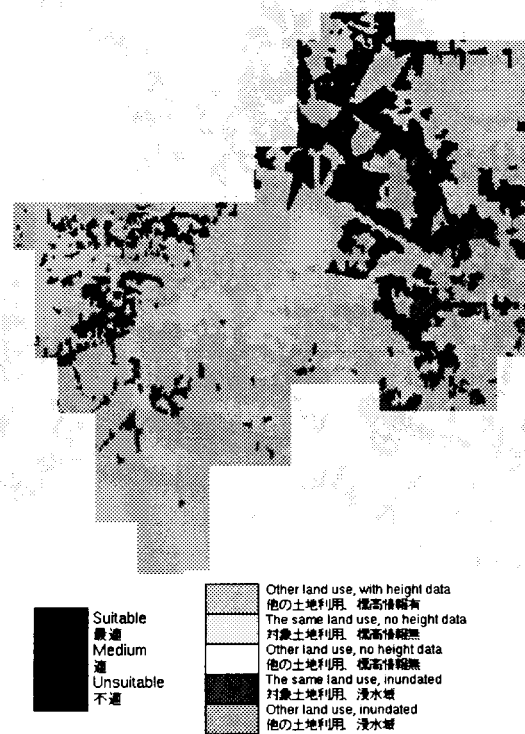


図15 住宅地の適性（海面上昇1m時）



図 16 推定土地利用分布（海水面上昇 1 m 時）

い、海水面が1メートル上昇した場合における地区の最適化された土地利用の配置パターンを得る手法を開発した。

バンコク地区では、地下水位の上昇それから海水進入による陸水の塩分濃度の推定を行い、これらの影響が現在の土地利用において適用された場合の影響を明らかにした。それから、海水面上昇に適応した土地利用配置について、浸水域の土地利用を内陸に移動させる方法でシミュレーションを行った。

なおこのような手法は、確立されたものではなく、改良の余地はあるが、海水面上昇の影響把握にとどまらず、長期にわたる空間利用計画、特定の土地利用の立地の可能性の調査などに生かされることも期待される。

参考文献

3.3 問題点

発展途上国において、海水面上昇による影響を把握することはデータの欠如により大変困難である。例えば地盤高の情報はバンコク地域では都市部にこそ存在するが、周辺地域は精度が低いものしか存在しない。よって、調査地域において総合的な分析を行うことは困難であった。

また土地利用配置のシミュレーションにおいては、若干の改良が考えられる。例えば、資産が集中している地区で浸水が予想されるような場所は防護するとの前提において浸水域からはずすことや、盛り土を行ったことによる条件の改良を考慮に入れることが考えられる。

4 まとめ

新潟平野東部地区においては、海水面が1メートル上昇した場合の自然的条件の変化を把握し、その変化の推定、および他の土地条件要素を加味して、自然的条件からみた地域の土地利用の適性度の把握とその序列化を行

IPCC (1996) : Secondary summary for policy makers : <http://ipcc.unep.ch/ipcc/sumwg2.html>
Warrick, R. A., Barrow, E.M. and Wigley, T.M.L. (eds.) (1993) : Climate Change and Sea Level Change, Cambridge University Press, UK, 424p.

国土地理院 (1965) : 新潟地震震災調査報告書 .60p

国土地理院 (1991) : 地球の温暖化による海面上昇の影響把握に関する研究。平成 3 年度報告書

[国際共同研究等の状況]

タイ国における事例研究はタイ国科学技術エネルギー省国家研究評議会リモートセンシング部と覚え書きを取り交わした上での共同研究である。

[研究発表の状況]

(学会発表)

津沢正晴、赤桐毅一、永山 透、森 大 (1994) : 海面上昇が海岸及び低地の土地条件に与える影響予測に関する研究、-新潟平野東部の例-、日本地理学会 1994 年度秋期学術大会

永山 透、森 大、金子純一 (1996) : 海面上昇が沿岸低地に与える影響 (土地利用の適性度把握の試み)、日本地理学会 1995 年度春期学術大会