

海面上昇による人口移動を経済効率的に 誘導するための土地利用規制に関する考察

大野栄治¹・山田淳大²

¹正会員 博(工) 名城大学教授 都市情報学部 (〒509-0261 岐阜県可児市虹ヶ丘 4-3-3)

²学生会員 修(都市情報) 名城大学大学院都市情報学研究科研究生 (〒509-0261 岐阜県可児市虹ヶ丘 4-3-3)

本研究では、海面上昇に適応した人口配置計画を支援するための人口移動モデルを構築し、海面上昇に伴って発生する人口移動を経済効率的に誘導するための土地利用規制について考察した。本研究で構築した人口移動モデルは、GIS (地理情報システム) で処理できるように、数値地図データをベースとした。そして、本モデルを伊勢湾周辺地域 (愛知県、三重県、岐阜県南部) に適用し、人口移動を経済効率的に誘導するための土地利用規制 (特に標高の下限值) について考察した。その結果、標高の下限値を 7m 以下あるいは 11m 以上に設定することは経済効率的ではなく、今回の条件設定の中では 9m 程度に設定することが最も望ましいと予想された。

Key Words: land-use regulation, migration, sea level rise, GIS (geographic information systems)

1. はじめに

現在、地球温暖化による海面上昇の問題は、切迫した国際問題として認識されている。その影響は社会経済を始めとして多岐にわたり、その大きさは壊滅的な被害を受ける国があると予想されるほど甚大であるといわれている。この問題に対して、日本政府は温室効果ガスの排出削減・吸収増大などによって気候変動を緩和する対策 (すなわち緩和策) に重点を置いて取り組んできた。しかし、京都議定書において、世界最大の温室効果ガス排出国である米国が離脱したこと、また近い将来に大きな温室効果ガス排出国になると予想される中国が締約していないことなどを考えると、気候変動に対する社会・経済活動の対応力を高めることによって脆弱性を低減する対策 (すなわち適応策) について真剣に取り組む時期にきていると思われる。

本研究では、海面上昇に適応した人口配置計画を支援するための人口移動モデルを構築し、海面上昇に伴って発生する人口移動を経済効率的に誘導するための土地利用規制について考察した。まず、本研究で構築した人口移動モデルは、GIS (地理情報システム) で処理できるよ

うに、数値地図データ (1km メッシュデータ) をベースとした。また、IPCC (気候変動に関する政府間パネル) による今後 100 年間の海面上昇予測を参考にして、1m の海面上昇を想定した。そして、本モデルを伊勢湾周辺地域 (愛知県、三重県、岐阜県南部) に適用し、人口移動を経済効率的に誘導するための土地利用規制について考察した。その際、現在の「メッシュ人口」「メッシュ地価」「メッシュ標高」との関係から、メッシュ単位で転入人口の規制についても考察した。

2. データベース

(1) 人口データ

人口データとしては、(財)統計情報研究開発センターの「国勢調査地域メッシュ統計」¹⁾と「事業所・企業統計調査地域メッシュ統計」の2つが利用可能である。前者は夜間人口であり、世帯の移動を分析する際に必要となる。後者は昼間人口であり、企業の移動を分析する際に有用となる。また、労働者の通勤構造を考慮して人口移動を分析する場合には、昼間・夜間人口に加えて通勤 OD (Origin-Destination: 発地点-着地点) のデータが

必要となる。しかし、既存のデータベースにおいて、昼間人口・夜間人口・通勤 OD の時系列変化と人口移動 OD との整合が保証されていない。本研究では、当面、夜間人口分布の変化に焦点を当て、昼間人口や通勤 OD の変化は扱わないこととする。

なお、本研究で用意した人口データは、1km メッシュ単位で整備されている。

(2) 地価データ

地価データとしては、(財)土地情報センターの「地価公示データ」²⁾が利用可能である。しかし、当該データは地点情報であるため、メッシュデータを必要とする数値地図には対応していない。そこで、まず市町村毎に住宅地地価の算術平均値を算出して、当該数値を各市町村の地価とする。次に、メッシュコードと市町村コードのマッチングを通じて、各メッシュの地価を与える。その際、メッシュの大きさは、人口データのメッシュと同様に 1km×1km とする。

なお、1km メッシュ単位で伊勢湾周辺地域の人口分布をみると、「人口=0」のメッシュは可住地でない可能性が高い。本研究では、「人口=0」のメッシュは「地価=0」とするとともに、非可住地として扱うこととする。

(3) 標高データ

標高データには、国土地理院の「数値地図 50mメッシュ」³⁾を用いる。このデータは 50mメッシュ単位で整備されている。しかし、前述した人口データと地価データが 1km メッシュ単位で整備されているので、3 者のメッシュ単位をそろえるために標高データを 1km メッシュ単位に変換する。

その際、標高データは 1km メッシュ内に 400 個あるので、どの数値(平均値、中央値、最頻値、最高値、最低値など)を当該メッシュの代表値とするかが問題になる。本研究では、安全側の観点から最低値を代表値とする。すなわち、1km メッシュ内にある 400 個の標高データのうち 1 つでも 1m 以下となれば、当該メッシュは 1m の海面上昇によって水没すると仮定する。

3. 人口移動の考え方

海面上昇に伴う人口移動は、将来の安全な生活を確保するための行動であると考えられる。本研究では、1m の海面上昇について、1km メッシュ内にある 400 個の標高データのうち 1 つでも 1m 以下となれば、当該メッシュ内での生活は脅かされるとし、当該メッシュからの転出が行われると考える。また、転出先の選択は消費者行動原理に基づいて行われると考える。

なお、たとえ海面上昇があっても、現実には堤防など

によって被害が出ないかもしれない。本研究では、海面上昇から内陸部を護るための施設がどれだけ重要であるか(どれだけの経済価値を救うのか)を示すために、堤防などの護岸施設がないと仮定する。

4. 人口移動のモデル化

人口移動をモデル化するにあたり、分析の手順を説明する。まず、簡単なフローを図 1 に示す。ここでは、海面上昇によって生じる土地の水没を人口移動の原因と考える。これにより、水没するメッシュに居住する人々は住み替えるためのメッシュを探し、立地効用が最大であるメッシュに決定する。一方、これらの人口を受け入れたメッシュでは、人口の増加に伴って地価が上昇し、立地効用が変化する。また、土地利用制約を超えた人々が転入した場合には、超過人口は再び移動を検討する。そして、すべてのメッシュが土地利用制約を満たしたとき、人口移動は終了する。

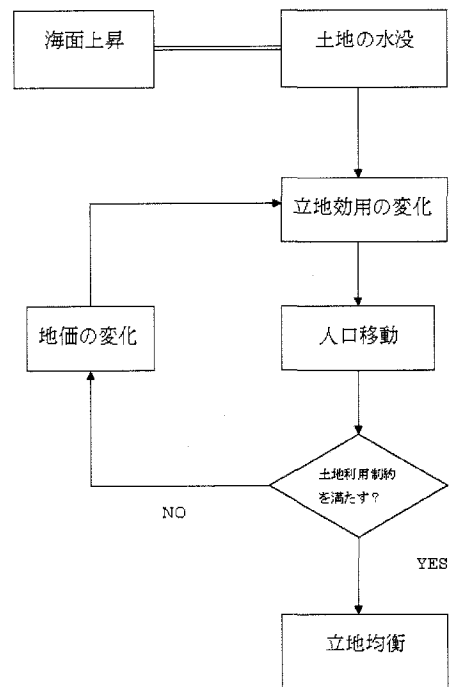


図1 人口移動モデルのフロー

次に、図1のフローを詳細に説明すると、以下のとおりである。

手順0) 人口移動モデルを構築するにあたり、以下の仮定をおく。

<仮定1>海面上昇によって水没するメッシュには、人々が居住できない。

$$N_k = 0 \quad (1)$$

ただし、 k : 水没するメッシュ。

<仮定2>各メッシュには、土地利用制約（人口の上限）がある。

$$N_i \leq \bar{N}_i \quad (2)$$

ただし、 N_i : メッシュ i の人口、 $\bar{N}_i$: メッシュ i の人口の上限。

<仮定3>各メッシュの地価は、当該メッシュ人口関数で定義される。

$$R_i = R[N_i] \quad (3)$$

ただし、 R_i : メッシュ i の地価。

<仮定4>人口移動における人々の立地効用は、移動距離と地価の関数で定義される。

$$U_{ij} = U[L_{ij}, R_j] \quad (4)$$

ただし、 U_{ij} : メッシュ i からの移動に対するメッシュ j の立地効用、 L_{ij} : メッシュ ij 間の距離。

手順1) 水没するそれぞれのメッシュについて、水没しないすべてのメッシュの立地効用を計測し、立地効用が最大になるメッシュを移動先と判定する。

$$P_{ij} = \begin{cases} 1 & : i = j^* \text{ のとき} \\ 0 & : \text{その他のとき} \end{cases} \quad (5)$$

ただし、 P_{ij} : メッシュ i からの移動に対するメッシュ j の立地確率、 j^* : 水没しないメッシュで $\max_j U_{ij}$ となる j 。

手順2) 移動元メッシュの人口を移動先メッシュの人口に加算する。なお、土地利用制約を超えたメッシュにおける超過人口は、再び移動を検討する。

手順3) すべてのメッシュの地価を計測する。なお、土地利用制約を超えたメッシュについては、その上限の人口で地価を計測する。

手順4) 土地利用制約を超えたそれぞれのメッシュについて、水没しない。かつ、土地利用制約を超えていないすべてのメッシュの立地効用を計測し、立地効用が最大になるメッシュを移動先と判定する。

$$P_{ij} = \begin{cases} 1 & : i = j^* \text{ のとき} \\ 0 & : \text{その他のとき} \end{cases} \quad (6)$$

ただし、 P_{ij} : メッシュ i からの移動に対するメッシュ j の立地確率、 j^* : 水没せず、土地利用制約を超えないメッシュで $\max_j U_{ij}$ となる j 。

手順5) 移動元メッシュの超過人口を移動先メッシュの人口に加算する。なお、土地利用制約を超えたメッシュにおける超過人口は、再び移動を検討する。

手順6) すべてのメッシュが土地利用制約を満足するまで、手順3)～手順5)を繰り返す。

手順7) すべてのメッシュが土地利用制約を満足したとき、人口移動は終了する。このときの人口分布と地価分布を立地均衡の結果とし、ArcView を用いて地図表示する。

なお、本モデルの計算プログラムはFortran 言語で作成した。

5. 分析対象地域

分析対象地域は、愛知県、三重県及び岐阜県南部を中心とする伊勢湾周辺地域である。この地域では、中部山岳地帯から太平洋に流れ込む河川によって形成された沖積平野、あるいはそれ以前に形成された洪積台地が広がり、温暖海洋性気候が卓越している。この地域の主要河川である木曽川・長良川・揖斐川の「木曽三川」は、流域面積が広く、内陸部にありながら比較的広い平地を形成してきた。愛知県西北部や岐阜県南部の中小都市群は、こうした地形条件に適応しながら発展してきた。一方、海岸から山地までの距離が比較的短い三重県や静岡県では、内陸部に広い平地は見られない。

伊勢湾周辺地域には、日本の四大工業地帯のひとつである中京工業地帯が位置する。ここでは、明治時代の初めから紡績・織物の繊維工業や陶磁器工業が盛んであったが、第二次世界大戦頃からは重工業、戦後はさらに石油化学工業が進出した。特に名古屋港や四日市港の周辺には広大な埋め立て地が造成され、製鉄所や石油化学コンビナートなどの大工場が数多く建設されている。2001年の工業統計によると、中京工業地帯の従業者数は1,006,743人、製造品出荷額は42兆1,963億円にのぼり、これらの数値は四大工業地帯の中で最大である。

伊勢湾に位置する港湾は、後背地の発生集中貨物を支えとして日本の代表的港湾にふさわしい貿易量を確保しており、地元産業と密接に結びついている。これは、地

元産業の国際競争力の高さが大きな要因であるが、当該地域において高規格道路網等の整備が立ち遅れているために周辺地域の貨物が集まらないことも要因となっている。

しかし、近年では、日本を対象とした輸入拠点が東海地方の港湾に立地しつつある。例えば、三河港では、豊田市を中心とした地域の自動車工業に関連する技術力の優位性と相まって、輸入自動車コンプレックスが形成され、日本最大の自動車輸入基地となっている。また、オレンジジュースやオイル添加剤など、その他の品目についても、日本を対象とした輸入拠点が立地されつつある。今後、高規格道路網が充実すると、更にこの傾向が続くと考えられる。

6. 海面上昇による水没地域

分析対象地域内で 1m の海面上昇によって水没する地域は、図 2 の中の黒色部で示される。

ここで、海面上昇を 1m とする根拠は、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）が今後 100 年間に全球平均で 88cm の海面上昇を見込んでいることと、標高データが 1m 単位で計測されていることによる。

また、オリジナルの標高データ「数値地図 50m メッシュ」は 50m メッシュ単位で整備されている。しかし、他のデータとメッシュ単位をそろえるために、標高データを 1km メッシュ単位に変換している。その際、1km メッシュ内にある 400 個の標高データのうち 1 つでも 1m 以下となれば、当該メッシュは 1m の海面上昇によって水没すると仮定している。その結果、50m メッシュ単位で計測される水没面積は約 662km²であったが、1km メッシュ単位で計測される水没面積は約 1,889km²となった。したがって、安全側の観点から 1km メッシュ内の最低標高で計測した水没面積は、オリジナルの標高データで計測した水没面積の約 3 倍となることがわかる。

なお、海面上昇による土地利用上の安全性は、土地の水没だけでなく、塩水遡上による地下水への塩水浸入、高潮災害リスクの上昇なども影響を受ける。したがって、1m の海面上昇によって生活を脅かされる面積が 1,889km² となることについて、過大評価であるとは言いきれない。

7. 現在の人口分布と地価分布

1995 年現在の人口分布（夜間人口）は図 3 に示すとおりであり、名古屋市を中心として、都市部に集中していることがわかる。図中の最も薄い灰色部は「夜間人口＝0」を示すが、沿岸部では当該メッシュに工場や倉庫などの建物が立地しているため、内陸部では当該メッシュ

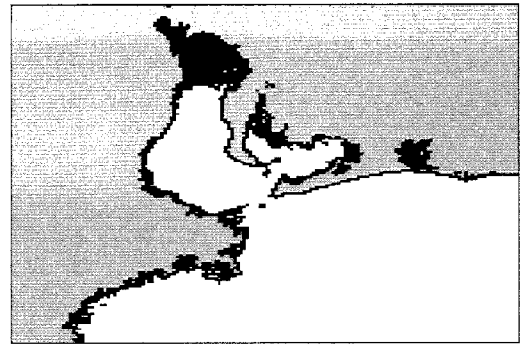
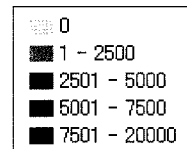
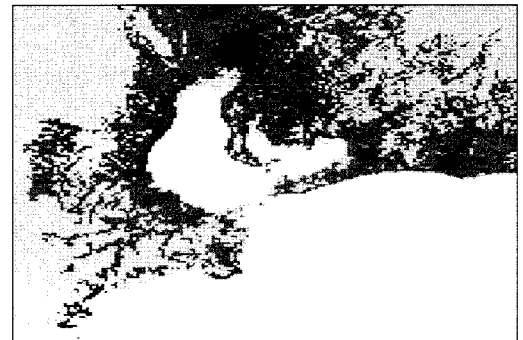


図 2 1m の海面上昇による水没地域



[単位：人]

図 3 人口分布（1995 年現在）

が森林などの非可住地であるためと考えられる。一方、1995 年現在の地価分布（住宅地地価）については図示を省略するが、人口分布と同様の分布になっている。

8. 海面上昇による人口分布変化の予測

（1）地価関数と立地効用関数の特定

本研究で構築した人口移動モデルにおいて、地価関数式(3)と立地効用関数式(4)を次のように設定する。

$$R_j = R'_j + 14.267 \times (N_j - N'_j) \quad (7)$$

$$U_{ij} = \alpha_1 \times L_{ij} + \alpha_2 \times R_j \quad (8)$$

ただし、 R_j ：メッシュ j の地価 [円/㎡]、 R'_j ：メッシュ j の人口変化前の地価 [円/㎡]、 N_j ：メッシュ j の人口 [人]、 N'_j ：メッシュ j の人口変化前の人口 [人]、 U_{ij} ：メッシュ i からの移動に対するメッシュ j の立地効用、 L_{ij} ：メッシュ ij 間の距離 [km]、 α_1 ：距離に対

する重み係数 ($\alpha_1 = 1$ とする), α_2 : 地価に対する重み係数 ($\alpha_2 = 0.00001$ とする)。

なお、式(7)における人口に対する重み係数 14.267 は、当該地域において推定された地価関数 (人口を説明変数とする線形関数) の $\partial R / \partial N$ (人口に対する重み係数) の値である。また、式(8)における地価に対する重み係数 0.00001 は、市場データによる推定が困難であるので、試行錯誤によって設定した。

(2) 土地利用規制の設定

本研究では、海面上昇によって水没しない地域で転入人口を受け入れる際の土地利用規制として、各メッシュの「夜間人口の上限値」と「標高の下限値」を設定した。

「夜間人口の上限値」については、土地利用の状況によって設定方法が異なるが、ここでは新たな住宅団地の開発によって転入人口を受け入れることを想定し、名古屋市近郊に開発されたニュータウンの人口密度を参考にして 8,000 人とした。なお、当該地域におけるメッシュ人口の最大値は 15,803 人であり、ここで設定した上限値を超えているメッシュが多く存在する。そのようなメッシュについては、新たな転入人口の受け入れは不可とするが、既存の居住人口の転出は不要とした。

「標高の下限値」については、1mの海面上昇によって水没しない標高の最低値 2mから 11mまでを 1m刻みに設定した。そして、各設定値に対する人口分布変化の予測を通じて、経済効率的な土地利用規制を検討した。

(3) 人口分布変化の予測結果

1995年現在の分析対象地域内の人口は 9,827,339 人であり、その中で 1mの海面上昇によって水没する地域内の人口は 2,014,332 人である。本研究では、この水没地域内の人口がどこに移動し、人口分布がどのように変化するかを予測した。

まず、土地利用規制 (標高下限) の変化に伴う移動人口の平均移動距離の変化を図 4 に示す。この図より、標高下限が最低 (2m) のときに平均移動距離が最低 (約 30km) となり、標高下限が高くなるにつれて平均移動距離が長くなるという傾向が見られる。ただし、標高下限が 9m前後のときに、平均移動距離が局所的に短くなるという特徴がある。全体の傾向は、低地が水没地域の近くにあり、高地が水没地域から離れた内陸部にあることによる。分析対象地域では、水没地域の「すぐ近く」には農地が広がっているため、そこで多くの転入人口が受け入れられる。しかし、「少し近く」には大都市が広がっており、そこは既存の居住人口をもつため、すぐに人口上限に達して「再度の移動」を余儀なくされる。ところが、「少し遠く」の高台にまとまった農地があるため、そこで多くの転入人口が受け入れられる。

ここで、「再度の移動」という現象は本研究の人口移動モデルによるシミュレーション過程で発生し、最終的な移動距離を計測する際には無視すべきものであるかもしれない。しかし、人口移動を市場に任せれば、「再度の移動」を余儀なくされるという状況が混雑問題を引き起こし、地価を始めとする価格の上昇をもたらすと考えられる。すなわち、土地利用規制 (標高下限) を 4m~7m に設定する場合は経済効率的ではないと予想される。

一方、標高下限を 3m以下に設定すると高潮や津波による被害が危惧され、また 11m以上に設定すると住み替え費用が膨大になる。したがって、今回の条件設定の中では、標高下限を 9m程度に設定することが最も経済効率的であると予想される。

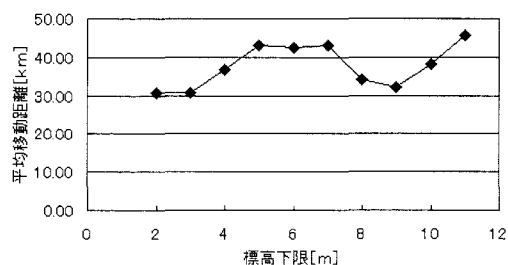


図 4 土地利用規制 (標高下限) と平均移動距離の関係

次に、土地利用規制 (標高下限) を 9m程度に設定した場合の人口分布変化の予測結果を図 5 と図 6 に示す。図 5 は 1mの海面上昇を想定した場合の人口分布であり、また図 6 は 1mの海面上昇による人口分布の変化 (図 5 と図 3 の差分) である。図 5 より、水没地域の人口がゼロになることが明確に読み取れる。また図 6 より、愛知県名古屋市南東部および周辺地域や三重県桑名市および周辺地域などに人口増加が見られる。さらに、伊勢湾周辺地域全体としては、現在の海岸線より 10km 程度離れた内陸部に転入人口を受け入れる地域が存在する。これらの地域は、物理的に転入人口を受け入れられるというだけでなく、水没地域から転出する人々にとって望ましい (立地効用の高い) 地域でもある。したがって、海面上昇の適応策として政策的に住宅地開発を検討する場合には、このような地域を選定することが望まれる。

しかし、本研究の人口移動モデルの立地効用関数には 2 変数 (移動距離と地価) のみが組み込まれているだけであり、しかも変数のパラメータが仮想数値であるために、分析結果の現実性は十分に保証されていない。したがって、社会基盤の整備状況などに関する変数を導入すること、市場データによりパラメータを推定すること、さらに市場均衡モデルを構築することなどが今後の課題として残されている。

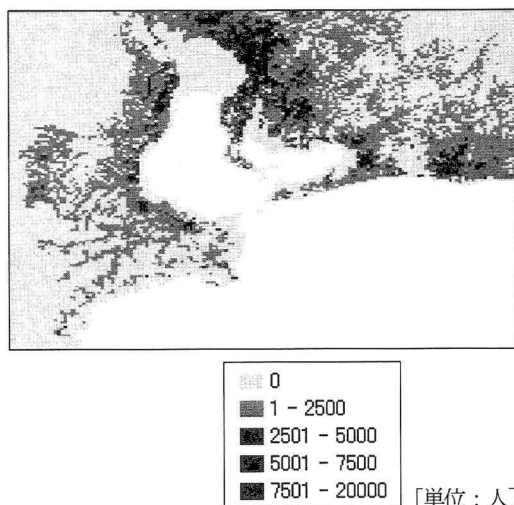


図5 1mの海面上昇を想定した場合の人口分布

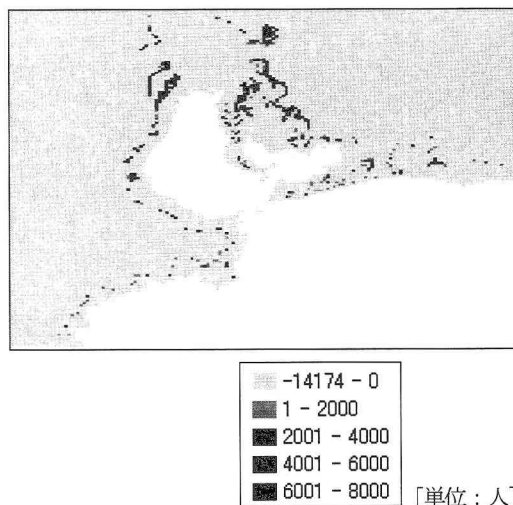


図6 1mの海面上昇による人口分布の変化

9. まとめ

本研究では、海面上昇に適応した人口配置計画を支援するための人口移動モデルを構築し、海面上昇に伴って発生する人口移動を経済効率的に誘導するための土地利用規制について考察した。本研究で構築した人口移動モデルは、GIS（地理情報システム）で処理できるように、数値地図データをベースとした。そして、本モデルを伊勢湾周辺地域（愛知県、三重県、岐阜県南部）に適用し、人口移動を経済効率的に誘導するための土地利用規制（特に標高の下限值）について考察した。

本研究で考察した土地利用規制は各メッシュの「夜間人口の上限値」と「標高の下限值」である。「夜間人口の上限値」については、海面上昇によって水没する地域内の人口を新たな住宅団地の開発によって受け入れることを想定し、名古屋市近郊に開発されたニュータウンの人口密度を参考にして8,000人とした。「標高の下限值」については、1mの海面上昇によって水没しない標高の最低値2mから11mまでを1m刻みに設定した。その結果、標高の下限値を7m以下あるいは11m以上に設定することは経済効率的ではなく、今回の条件設定の中では9m程度に設定することが最も望ましいと予想された。

しかし、本研究の人口移動モデルは発展途上にあり、分析結果の現実性は十分に保証されていない。したがって、社会基盤の整備状況などに関する変数を導入すること、市場データによりパラメータを推定すること、さらに市場均衡モデルを構築することなどが今後の課題として残されている。

参考文献

- 1) (財)統計情報研究開発センター：国勢調査地域メッシュ統計，1995。
- 2) (財)土地情報センター：地価公示データ，1995。
- 3) 国土地理院：数値地図50mメッシュ（標高），2000。

A STUDY ON LAND-USE REGULATION TO LEAD MIGRATION EFFICIENTLY DUE TO SEA LEVEL RISE

Eiji OHNO and Akihiro YAMADA

In this study we have constructed a migration model to support the population arrangement plan that adapts to sea level rise, and have discussed about the land-use regulation to lead migration efficiently due to sea level rise. The model is based on the digital map data in order to operate on the GIS (geographic information systems), and has been applied in Ise Bay Area. The result indicates that the land-use regulation on the minimum ground height which sets about 9 meters is the most efficient under limited condition in this study.