

茨城沿岸における人口成長と海面上昇の複合影響評価

Compound Impact Assessment on Population Growth and Sea-Level Rise along Ibaraki Coast, Japan

信岡尚道¹・奈良直樹²

Hisamichi NOBUOKA and Naoki NARA

Impact of rise in sea-level due to global warming and positive population growth derive primary vulnerability in coastal zones. On the other hand, population has been decreasing especially in rural area of Japan, so that a change in a risk of coastal disasters depends on the competition between sea-level rise and negative population growth. This study carried out a vulnerability assessment of coastal flood with these compound impacts which agreed to SRES scenario of IPCC in 21st century. After future population in the target area was calculated, this population was adjusted to the trend of SRES scenarios. The time-series of flooded area and that affected population according to each scenario were counted, and adaptation strategies were discussed for thinly populated areas.

1. はじめに

21世紀中に考えられる沿岸域への大きな影響には、自然面では海面上昇や熱帯低気圧の強大化など地球温暖化に伴う変化、社会面では負も含めた人口増加があげられる。たとえば、海面が上昇すれば、人口増加がなくとも、高潮氾濫域の拡大にともない氾濫域の人口も増加していく。他方、海面上昇がなく氾濫域が拡大しなければ、人口そのものが減少することにより、氾濫域人口も減少するとことは容易に考えられる。したがって、複合した影響要因のもとで沿岸域を管理していくことが必要である。

細見ら（2005a, 2005b）はこの視点に立ち、住民へのアンケートとモデル海岸での評価から海面上昇対策の在り方をまとめている。信岡ら（2009a, 2009b）はアジア・太平洋を対象に、これら要因の定量的影響評価をマクロ的な視点でおこない、アジア全体では人口増加と海面上昇による脆弱性の傾向を示した。今後、経済成長もこれまでとは異なる可能性がある我が国では、これらの要因に対する適応策を含む沿岸域の総合管理を考える上で、従来の防御策とは異なる方向性の検討を進める必要があると考えられる。

本研究では、この初期の検討として茨城沿岸を実対象として海岸防御施設が無い場合を想定し、人口成長と海面上昇を考慮した将来の高潮浸水人口を定量的に予測するものである。その中で海面上昇と人口成長には不確実性を取り入れるため複数のシナリオをもとに予測を行う。

2. 影響評価手法

(1) 人口シナリオ

国立社会保障・人口問題研究所（以下、社人研と呼ぶ）では、日本の将来人口の推計を行っているが、都道府県別については30年間に限られていること、またIPCCが作成した温室効果ガス排出シナリオ（SRESシナリオ）と関連がないことから、茨城県の将来人口を独自に推計することとした。

代表的な将来人口の推計方法には、過去の人口変動に数学的関数をあてはめる関数あてはめ法、あるコーホートの2つの時点の間における年齢別人口の変化率に基づくコーホート変化率法に、コーホート要因法がある。コーホートとは人口学の中では、人口観察の単位集団で、同一の年に出生した集団を基本として、ある時点における年齢、性別など共通属性をもつ人口集団をさす。コーホート要因法とは、これら変動要因に基づいて推計するもので、過去の各要因の資料が揃っている日本では適した方法とされており、社人研でも用いられている。必要とする主な仮定値は、基準人口と、将来の出生率、死亡率、人口移動率と出生性比の5つである。

2100年までの茨城県を一括した将来人口の基本値をこのコーホート要因法で推計した。基準人口には平成17年の国勢調査第1次基本集計結果の年齢別人口を用いた。年齢不詳の人数は、全年齢の人口に対する各年の人口の率で配分させた。出生率は現在まで続く人口減少が開始した昭和47年からの値に、累乗近似を適用したトレンド推計法により2035年までの出生率を予測して、2035年以降は出生率の低下が止まると仮定した。これを2005年の茨城県における女子の年齢別出生率分布（厚生省の人口動態調査）の形状が将来にわたって同一として、年齢別出生率分布を求めた。なお出生性別の男女比は過去15年

1 正会員 博(工) 茨城大学准教授工学部都市システム工学科
2 水戸信用金庫

の平均値105.5：100で一定とした。将来の生存期間についても、平均寿命年次推移（厚生労働省）をもとにこれまでの性別トレンドを2050年まで外挿して求めたが、2050年以降は2050年を置換水準として一定とした。年齢別の死亡率は、それに伴う平均寿命を先に求めたものと一致させるために、平成20年簡易生命表（厚生労働省）をもとに収束計算を行った。移動については、茨城県では数千人の転出超過が10年間続いていたが2009年には転入超過に転じたこともあり、ここでは転出入総数は一定とした。また、茨城県で一括して推定しているため、県内の市町村間の移動も考慮していない。以上の基礎値を用いて、2005年を基準とした2100年までの将来人口推計をおこなった。

SRESシナリオでは、地球温暖化ガス排出量を含め21世紀の多様な社会シナリオを描いており大きく4つのシナリオに分かれる。その4つのシナリオのうち代表的なシナリオとしてA1B、A2、B1、B2シナリオがあげられる。このうちA1BシナリオとB1シナリオの人口はほぼ同じであるため、同一の値を用いる。コロンビア大学のCenter for International Earth Science Information Network (2002, 以下CIESIN) は、IPCCのSRESシナリオに基づく21世紀中のアジアなど地域別人口から国別人口にダウンスケーリングしている。これを茨城県にダウンスケーリングするために、簡易的に式(1)をあてはめた。

$$\begin{aligned} & \text{SRES 茨城推計人口} \\ &= \frac{\text{SRES 日本推計人口}}{\text{日本推計人口}} \times \text{茨城推計人口} \quad \cdots (1) \end{aligned}$$

ここで用いた日本推計人口は、社人研が平成18年12月に推計した2055年までの将来人口推計と2056年以降の超長期参考推計人口（死亡中位、出生中位）である。

各SRESシナリオによる茨城県の将来の人口分布には、地域メッシュ統計の茨城（総務省、平成17年国勢調査）をもとに各SRESシナリオ別の茨城県の人口成長率を乗じたものを用いた。

(2) 高潮位シナリオ

高潮位 $\eta_{\max}$ には、観測された既往最高水位 $\eta_{H.H.W.L}$ に海面上昇 $\eta_{S.L.R}$ を加えたものとした（式(2)）。

$$\eta_{\max} = \eta_{H.H.W.L} + \eta_{S.L.R} \quad \cdots (2)$$

茨城沿岸の既往最大高潮偏差は、2002年の台風通過時における82cmであるが、最高水位は2006年10月の温帯低気圧に伴い長時間の高潮が継続して満潮と重なった時の147cm（信岡ら、2008）である。この最高水位に、SRESシナリオに基づく海面上昇シナリオを加えたものを高潮位シナリオとした。

海面上昇シナリオとしては、IPCC第4次報告書で示さ

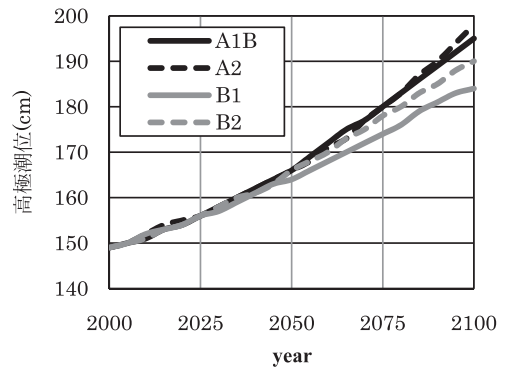


図-1 SRESシナリオに基づく4つの高潮位シナリオ

れた、東大・（独）国立環境研究所・（独）海洋開発機構（Hasumiら、2004）の気候モデルを用いた温暖化実験で得られた熱膨張による2100年までの値を元にした。海面上昇には氷河・氷床の融解の効果もあるが、詳細な値は公開されていない。そこで、IPCC第4次報告書に記載されている熱膨張による海面上昇と全海面上昇量との比の全気候モデル平均値を、上述のモデルによる詳細な時系列結果に乗じたものを採用した。なお、SRESシナリオのうちB2シナリオの熱膨張による海面上昇量値は得られなかったため、IPCC第4次報告書に記載されているB2シナリオとA1B、B1のシナリオの海面上昇値との比から簡易的に求めた。以上より定めた、本研究で用いる4つのSRESシナリオ（A1B、A2、B1、B2）による茨城沿岸の高潮位シナリオを図-1に示す。

(3) 複合影響評価

堤防がない状態を想定し、海岸線における高潮位と標高を、海岸からの氾濫経路を考慮して比較するレベル湛水法を用いて、将来の潜在的な高潮氾濫域を求めた。ここで用いた標高モデルは、国土地理院の数値地図50mを世界座標系の100mメッシュに変換したものである。簡易的な氾濫計算方法であるが、堤防など海岸防御施設が無い場合においては、波浪の影響は水際付近で消えることや、wave set-upの効果は上述の最高水位に既往最高の波高に伴う値として含まれていることから、レベル湛水法でも浸水域に大きな誤差は生じないと考えられる。

ある年の氾濫域メッシュの人口を県全体で合計したものをその年の影響人口としてまとめた。また、土地利用については、土地利用細分メッシュデータ（国土交通省、平成18年度）を用い、現在から将来まで利用変更がないと仮定して、氾濫域の土地利用別の氾濫面積を求めた。

3. SRESシナリオに基づく茨城県の将来人口

推計した茨城県の将来人口の信頼性を確認するため、社人研が推計した2035年までの茨城県の将来人口推計（死

亡中位, 出生中位)と比較したものが図-2である。図中の基本推計が本研究で推計したものであり, 社人研の推計(人口問題研究所)とほぼ一致している。このことから, 本研究で推計した人口も起こりえるシナリオとして考えることができる。ただし, 推計における種々の仮定が両者で異なっていることを断わっておく。

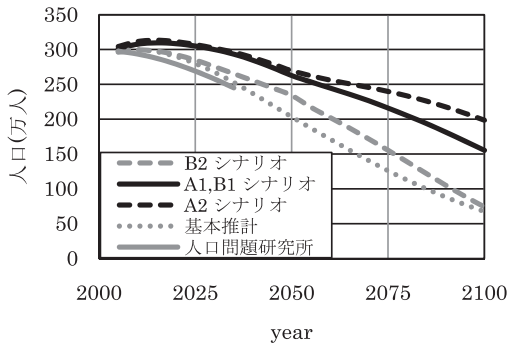
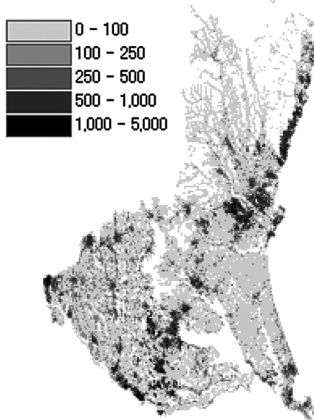


図-2 茨城県の長期人口推計とSRESシナリオの傾向に従う人口推計



(a) 2005年



(b) 2100年(A2)



(c) 2100年(A1B, B1)



(d) 2100年(B2)

図-3 茨城県の人口分布推計 (単位:人/(0.25km²), 2005年は総務局)

SRESシナリオに基づく茨城の人口推移も同図に示している。シナリオにより人口減少の程度が異なるが, 現在から2100年までに約100~220万人減少する結果となった。CIESINが求めたB2シナリオでは日本の総人口でも対2000年で4割まで減少することになっていることとともない, 本研究で推計した茨城では2割強まで大幅に減少となる, 限界下位のシナリオといえる。A2シナリオにおいては, IPCCのSRESシナリオ自体で世界の人口増加が大きくCIESINが求めた日本の人口も2050年ころに一旦は減少するものの21世紀後半は再び増加し2100年には2000年よりも人口が増加した結果となっていた。それに比べ, 図に黒破線で示している本研究で求めた茨城のA2シナリオ人口は少なめとも言えるが, 他のシナリオよりも人口は多い結果となっている。

茨城県の2005年および2100年の各シナリオにおける人口分布を図-3に示す。中央の南北に常磐線, 国道6号線および常磐自動車道があり, この沿線の主要都市で人口分布が高い。沿岸に着目すると, 南部の鹿島港周辺, 中央の大洗や那珂湊地区, 北部の日立市で人口が多いことがわかる。これが推計した2100年を見ると, SRESのA2シナリオ, A1B (B1もほぼ同じ), B2シナリオの順に沿岸の人口が少なくなる結果であることがわかる。

4. 将来の影響および脆弱性評価

海面上昇の進行にともない拡大していく茨城沿岸の高潮氾濫域を, A2シナリオを例に図-4に示す。この図には土地利用別に浸水域を積み重ねているものであり, 最上端が氾濫域の総域である。堤防がない場合を想定しているので2000年時点でも, 建物用地を含めて氾濫域となっている。2006年10月の高潮では, 建物用地前面で堤防や消波ブロックがありながら多少の越波が起こっていたこ

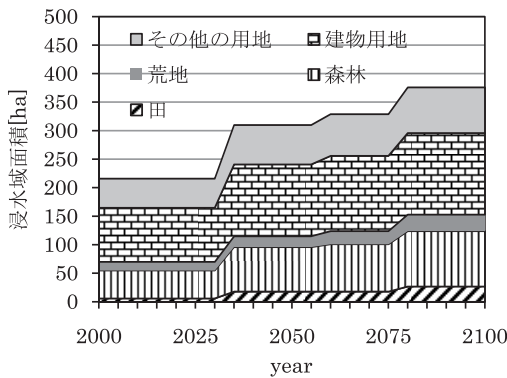


図-4 土地利用別浸水面積の推定 (A2シナリオ)

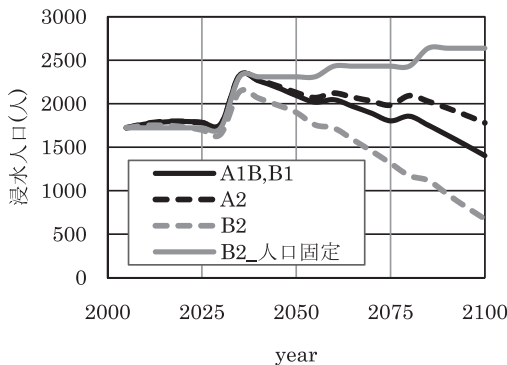


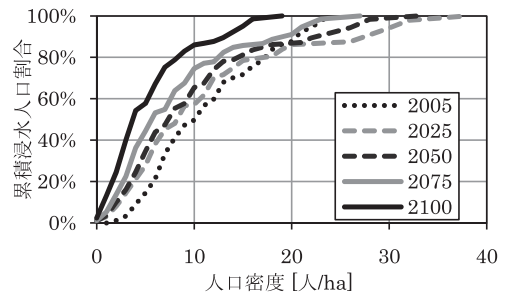
図-5 茨城県の浸水人口推計結果

とから、また防潮林が浸食したことから考えるに現状から大きくは離れていない結果といえる。2100年までに、水田、森林と建物用地および港湾などを含むその他の用地で氾濫域が1.5倍ほどに広がる結果となった。

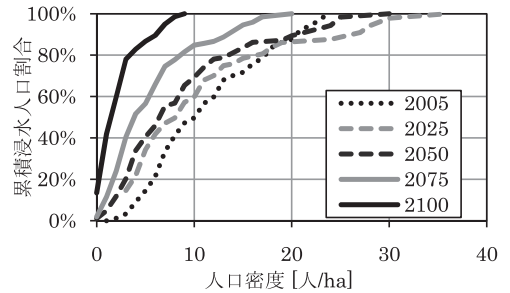
図-5に氾濫域人口の将来予測結果を示す。まず、人口が2005年と変わらないとしたシナリオの1例が「B2人口固定」で示しているが、海面上昇の進行に伴い氾濫域人口も増加している。他方、人口減少も含めたシナリオでは、どのシナリオでも、2030年ごろに一旦氾濫域人口が増え、その後は減少していく結果となった。その中でA2シナリオが最も氾濫域人口が多くなった要因には、海面上昇量が最も大きいこともあるが、人口減少が少ない効果の方が効いていた。

5. 人口減少地域での適応策に関する考察

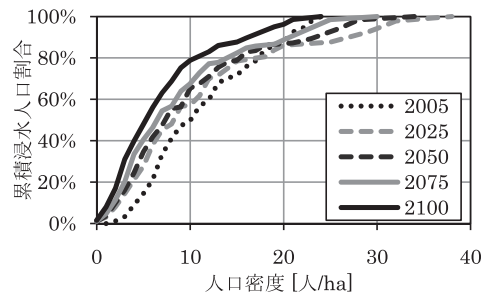
自然環境が無限にあり社会活動がそれへの負荷を及ぼさない、かつ経済が無限に大きいとするならば、地球温暖化に伴う海面上昇や熱帯低気圧強化による高潮の増大に対して堤防や消波ブロックなどによる対抗、もしくは養浜事業の実施などで広大な砂浜を確保することによる対抗で解決する。しかし、自然環境への圧迫は既に数十年間も問題にあげられてきたことであり、また経済に



(a) A1B シナリオ



(b) B2 シナリオ



(c) A2 シナリオ

図-6 浸水域人口密度と累積人口割合

関しても今後大きな成長を見込むことは難しい状況である。

茨城県の沿岸線は190kmを超え、全ての海岸に堤防建設することは容易では無いとするならば、建設区間を定める最適化問題と非建設区間の代替対抗策が必要になる。本研究で算定した氾濫域における人口密度の21世紀末までの変化を、累積分布で表したものが図-6である。各人口密度階級における氾濫域人口数を総氾濫域人口で除した率を、人口密度が低い方から累積したものである。A1Bシナリオにおいて、2005年における人口密度が10人/ha以下との低密度の氾濫域人口は全氾濫域人口の約半数である。それが2100年になると90%近くにまで低密度の氾濫域人口が増加する。それがA2シナリオでも80%近く、B2シナリオにおいては100%となった。

図-5と図-6からもう一つの重要な問題があげられる。

もし、海面上昇が進行したら2030年頃までは高潮氾濫域に定住する人口が増加する点、氾濫域の人口密度が高い地域が増加する点である。これは、どのSRESシナリオでも言えることである。本研究の結果からマクロ的に21世紀の茨城沿岸を見れば、一旦は危険度が増して、その後は低下する。もちろん、熱帯低気圧の強大化や温帯低気圧の勢力増大などによる高潮変化を含めて考える必要があるが、また時期の違いやピークの値に違いなどが生じることもあろうが、この傾向は変わらない可能性が高い。

海面上昇、熱帯低気圧などの強大化による高潮氾濫域の拡大も、人口減少も不確実な要素を多く含んでいる。また消波機能ともなる海浜の変化も長期的な予測は容易でない。今後、これらの不確実性の幅を縮めることや長期予測を可能にすることは必要である。他方、要因の将来の変化を受け入れるような多様な機能を有する沿岸域をつくりあげていくことも一つの有効な方策であろう。人口密度が高い地域または高度な土地利用区域と、人口密度が低いまたは土地利用が低い地域の二通りに対して、次のような対応例が考えられる。

- ・経済的かつ自然環境的に受け入れられる範囲で、より強固な堤防を構築していけば、たとえ外力が変化しなくても、防災力を高める点で役に立つ。
- ・高潮氾濫域への人口流入を禁止し、氾濫地域内に定住する住民が安全な所に移住ができれば、もしくは建築様式を高潮氾濫に耐えられるものに変更できれば、たとえ外力が変化しなくても自然環境区域として活用できる。(同様のことは土地利用方法に対してもあてはまる。)

特に後者に対する知見を積み上げていくことが、人口減少を迎える地域に必要であろう。砂浜維持のあり方、防潮林を有する小規模の砂丘の堤防機能として活用を検討することなどと合わせて、これらの設計手法の確立が今後、期待される。

6. 結論

本研究では人口減少と海面上昇を対象に取り上げ、高潮氾濫危険度への複合影響評価を進めた。茨城県の将来人口を推計した結果では、SRESシナリオにより人口減少の程度が異なるが、現在から2100年までに約100~220

万人減少することが推定され、沿岸域の人口もこれに従い減少する結果となった。

海岸防御施設が無い場合、高潮氾濫域は現在に比べ2100年では約1.5倍になり、建物用地や港湾などに代表されるその他用地と、森林で増加が大きくなった。この森林には防砂・防潮林として長年整備されてきたものが多く含まれる。氾濫域が拡大するに関わらず氾濫域の人口は負の人口増加に伴い2100年には浸水域人口の増減がA2シナリオではほぼ無く、A1Bシナリオでは約8割に減少、B2シナリオでは約4割に減少する結果となった。この浸水域人口を人口密度との関係で調べた結果、1ha当たり2~3世帯(軒)に該当する人口密度が低い範囲(10人/ha以下)に定住する浸水域人口が、総浸水域人口と比べ現在では約5割、将来では8割も占める結果となった。

以上の結果から今後の沿岸域管理において、海岸防御のみでなく低人口密度の地域における移住および建築様式や土地利用の変更の可能性を、護岸や堤防の有無と防砂・防潮林の維持の関係を含めて、検討する価値があるといえた。

参 考 文 献

- 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来推計人口(平成18年12月推計) - 平成18年~平成67年 -, <http://www.ipss.go.jp/pp-newest/j/newest03/newest03.asp> (2009-08参照)
- 信岡尚道・三村信男・藤巻英明・永田拓也(2008)：猛烈な風を伴う低気圧による茨城沿岸の高潮被害の調査, 海岸工学論文集, 第55巻, pp. 1391-1395.
- 信岡尚道・三村信男・田村 誠(2009a)：21世紀におけるアジア・オセアニア沿岸の基礎的脆弱性の推定, 地球環境研究論文集, Vol.17, pp. 123-132.
- 信岡尚道・三村信男(2009b)：熱帯低気圧による世界の高潮分布と沿岸域の脆弱性評価, 海岸工学論文集, Vol. B-65, no.1 pp. 371-375.
- 細見 寛・角湯克典・内田 智・五味久昭・板橋直樹・三村信男(2005a)：地球温暖化に伴う海面上昇に対する住民意識と長期的対策のあり方, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 1291-1295.
- 細見 寛・角湯克典・内田 智・藤森真理子・鈴木信夫・三村信男(2005b)：地球温暖化による海面上昇に対応するための海岸保全対策のあり方, 海洋開発論文集, 第21巻, pp. 223-228.
- Center for International Earth Science Information Network (CIESIN) (2002) : Country-level Population and Downscaled Projections based on the B2 Scenario, 1990-2100, [digital version]. Palisades, NY: CIESIN, Columbia University. Available at <http://www.ciesin.columbia.edu/datasets/downscaled> (2009-01参照).
- Hasumi, H. and E. Emori (2004) : K-1 Coupled GCM (MIROC) Description, K-1 Technical Report, CCSR/NIES/FRC, 34p.