

地球温暖化後の台風に伴う高潮潮位偏差の変化

桐 博 英*・丹 治 肇**・中 矢 哲 郎***

地球温暖化に伴う沿岸域への影響には海面上昇が知られているが、台風の規模も大きくなることがわかってきた。しかし、台風規模の変化が高潮に伴う潮位偏差にどの程度影響を及ぼすのかは、明らかになっていない。そこで、台風が多く通過する有明海を対象に、2つのモデル台風を作成し、台風規模が15%大きくなった場合の潮位偏差の変化を数値解析により検証した。その結果、有明海内部では、20~55 cmの潮位偏差の増大が予測され、地球温暖化による沿岸域の保全対策には台風の規模の変化も考慮する必要があることを明らかにした。また、有明海を北上する台風では、台風接近時の潮位降下が台風通過時の潮位上昇を抑える効果があることを示した。

1. はじめに

地球温暖化に伴い、沿岸域の社会基盤や環境に影響を及ぼすものには様々な要因が考えられるが、海面上昇は、その中でも最も広く知られたものの一つである。地球温暖化シナリオに基づく予測から、IPCC は、1990 年~2100 年の間に平均海面が 9~88 cm (最良推定値 48 cm) 上昇すると予測している (IPCC, 2001)。地球温暖化に伴う海面上昇は、堤防の余裕高を減少させ、台風や地震の常襲地帯である日本では、高潮や津波の危険性が増大する。このため、平成 13 年度には気候シナリオに関する検討 (国土交通省, 2002a) や「地球温暖化に伴う海面上昇に関する国土保全研究会」が設置され、伊勢湾、三河湾をモデル地区として影響評価と対応策が検討され、今後取り組むべき課題や対策の方向性が示されている (国土交通省, 2002b)。

一方、地球温暖化に伴う気象の変化については、これまで十分な知見がなかった。しかし、簡易モデルによる推定では、台風の経路の変化は明らかでないが (吉村, 2002)、台風の規模、すなわち最大到達強度 (Maximum Potential Intensity: MPI) が 10~20% 大きくなることが示されている (Henderson ら, 1998)。また、近年の全球気候モデル (GCM) の改良およびハリケーンモデルによる結果との比較により、この台風規模の増大の予測がほぼ妥当であることが明らかになってきた (Knutson ら, 1999)。しかし、台風規模の変化が高潮に伴う潮位偏差にどの程度影響を及ぼすかは明らかではなく、地球温暖化の影響としての台風規模の変化を沿岸域の管理にどう反映させていくべきか明確には示されていない。

本報では、過去に日本に接近した台風を基にモデル台風を作成し、地球温暖化に伴い台風の規模が変化した場合を想定して、有明海における高潮による潮位偏差への影響を検証した。

2. 解析モデル

(1) 基礎方程式

高潮に伴う潮位偏差の推定において、式 (1)~(3) で表される二次元非線形長波の式を基礎方程式として用いた。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) \\ = fN - gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{D}{\rho_w} \frac{\partial p_0}{\partial x} + \frac{\tau_{sx} - \tau_{bx}}{\rho_w} \\ + A_h \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) \quad \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) \\ = -fM - gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{D}{\rho_w} \frac{\partial p_0}{\partial y} + \frac{\tau_{sy} - \tau_{by}}{\rho_w} \\ + A_h \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) \quad \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

ここで、 M 、 N ：それぞれ x 、 y 方向の流量フラックス、 D ：水深、 η ：静水面から上向きの水面偏差、 f ：コリオリ係数、 g ：重力加速度、 p_0 ：海表面での大気圧、 ρ_w ：海水密度、 A_h ：水平渦動粘性係数、 τ_{sx} 、 τ_{sy} ：水面の摩擦応力、 τ_{bx} 、 τ_{by} ：底面での摩擦応力である。

式 (1)~(3) の基礎方程式を差分法により離散化し、解析を行った。なお、本解析において、wave set-up による効果は考慮しなかった。

(2) 台風モデル

台風の気圧分布には多くのモデルが提案されているが、ここでは、式 (4) に示す Myers のモデルを用いる。

$$\begin{aligned} p(r) &= p_0 + \Delta p \exp \left(-\frac{r_0}{r} \right) \\ &= p_0 + (1013 - p_0) \exp \left(-\frac{r_0}{r} \right) \quad \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

ここで、 $p(r)$ ：台風の中心から r (m)離れた点の気圧

* 正会員 (独法)農業工学研究所 水工部・河海工水理研究室
** 正会員 農博 (独法)農業工学研究所 水工部・河海工水理研究室
*** 正会員 農修 (独法)農業工学研究所 水工部・河海工水理研究室

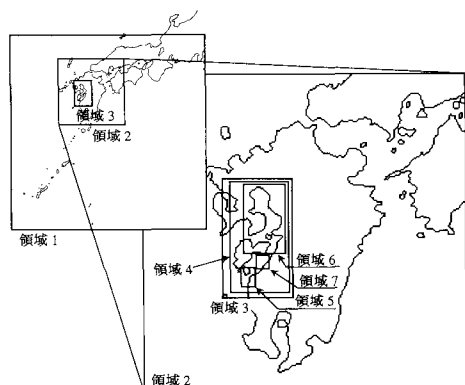


図-1 解析領域

表-1 各領域の計算格子

領域番号	格子数	格子間隔 (m)
1	24×75	16200
2	81×81	5400
3	57×93	1800
4	132×246	600
5	96×135	200
6	255×438	200
7	81×96	200

(hPa), Δp : 台風中心と周辺の気圧の差 (hPa), p_0 : 台風の中心気圧 (hPa), r_0 : 台風の半径 (m) である。

3. 高潮潮位偏差の比較

(1) 解析領域

本報では、有明海を対象として高潮による潮位偏差を比較した。解析対象を有明海としたのは、①干拓により造成された地盤標高の低い土地が多い、②台風が多く通過する、③潮位変化が大きく、大潮の満潮と台風が重なれば現在でも高潮の危険性が高い、などの理由による。

解析領域を図-1に示す。境界の影響を小さくするため、解析領域を広く取り、ネスティングにより順次格子間隔を小さくした。各領域の計算格子は、表-1のとおりであり、有明海全域の格子間隔は200mとした。解析領域内の水底標高データは海図から読み取り、海図に十分なデータがない有明海の干潟は、堤防直近の干潟標高の実測値から、海図上の標高0mのラインを元に線形補間して与えた。

(2) モデル台風

過去に日本に影響を及ぼした台風から2つのモデル台風を作成した(図-2)。このうち、モデル台風1は、有明海の西側を北東に進むもので、日本に接近する一般的

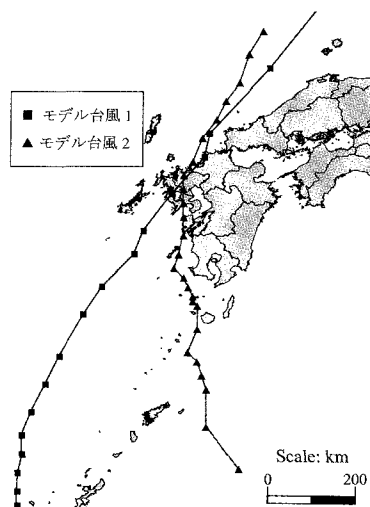


図-2 モデル台風の経路

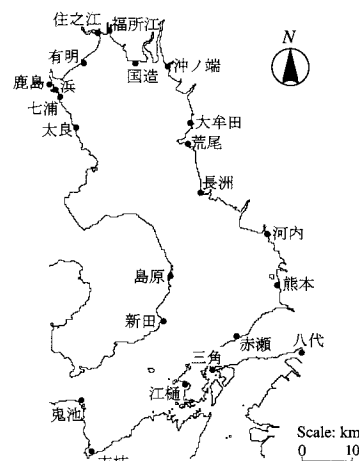


図-3 評価地点位置図

な台風に近い経路を通過する。一方、モデル台風2は、有明海をほぼ真北に北上し、有明海沿岸の多くの地域で高潮偏差が大きくなると予想されるものである。

モデル台風1は実際に九州と山陰に高潮災害をもたらした台風9918号(滝川, 2000; 久保田ら, 2002)を基本とし、有明海の潮位偏差が最大となるよう経度を0.75°西へシフトさせたものとした。また、モデル台風2は、台風4216号の経路に台風4516号の規模を合成して作成した。ただし、台風4516号に関する充分な実測データが得られなかったため、台風接近時の天気図から中心気圧と等圧線の距離を読み取り、式(4)のMyersの式に当てはめて台風半径を決定し、有明海を通過する間は同じ台風半径が保たれていたと仮定した。

台風モデルのパラメータは、モデル台風1では、台風

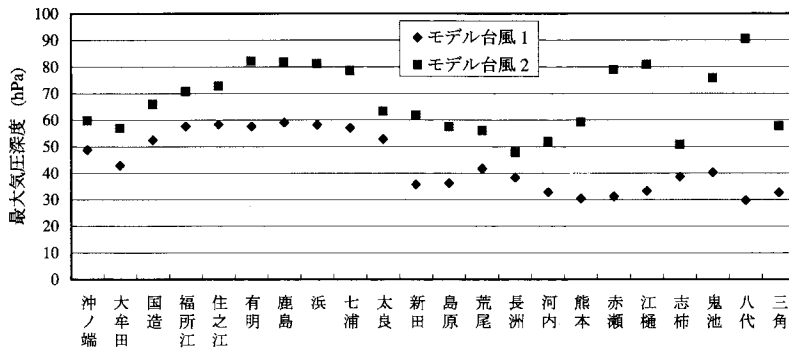


図-4 各評価地点における最大気圧深度

9918号に伴う高潮の再現計算を行い、図-3に示す21箇所の評価地点で気象観測資料と比較し、 $C_1=0.7$ 、 $C_2=0.7$ 、偏向角を 30° とした。また、モデル台風2は台風規模の基になっている台風4516号の観測データが得られなかったため、モデル台風1のケースと等しい値を用いた。

(3) 各モデル台風に伴う高潮潮位偏差の特性

図-3の評価地点を各モデル台風が通過した際の気圧深度の最大値（以下、最大気圧深度という）を示したのが図-4である。ここで、気圧深度とは1気圧(1013 hPa)と各時刻の気圧の差をいう。モデル台風1では、住之江といった有明海湾奥部で気圧深度が大きく、湾口部に向かって従って小さくなる傾向が読み取れる。一方、モデル台風2では、湾奥部ではモデル台風1と同様の傾向を示すが、有明海の東南側にあたる河内～江橋においても気圧深度が大きくなるという特性を有している。なお、有明海湾奥部を通過する両モデル台風の中心気圧深度は、モデル台風2のほうが2～3割大きかった。

高潮に伴う潮位偏差の最大値の平面分布を図-5に示す。有明海湾奥部の潮位偏差分布は、モデル台風2で等潮位偏差線の傾きが小さい以外に両モデル台風の違いは大きくない。しかし、一部、湾口に近い湯島の影響を受けてはいるものの、モデル台風1では、有明海湾口から湾奥部にかけて次第に最大潮位偏差の等値線の間隔が狭くなっていくのに対し、モデル台風2では熊本付近で潮位偏差の等値線の間隔が広がる領域が確認できる。これは、モデル台風1が有明海付近を北東に通過することで、外海から吹き寄せられた水が淀みなく湾奥部へと流れていくのに対し、モデル台風2では台風の接近に伴い湾口部で潮位の上昇が始まり、台風の北上とともに吹き寄せられた水が湾奥部に向かうことによると考えられる。

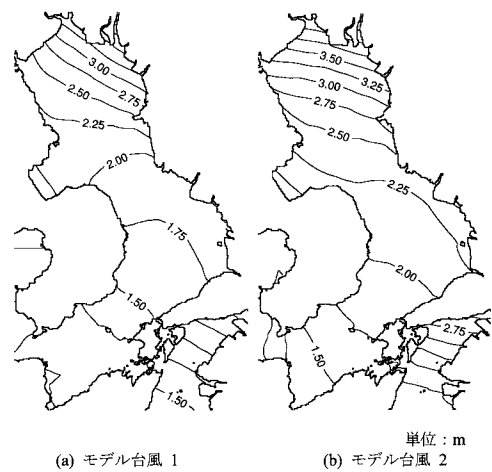


図-5 高潮による最大潮位偏差の比較

4. 潮位偏差の比較

(1) 地球温暖化に伴うモデル台風の変化

前述のとおり、Hendersonら(1998)は、地球温暖化に伴う台風への影響は、MPIが10～20%大きくなることを示している。MPIは、台風の中心気圧の最低値で示されるため、本報では、各モデル台風の中心気圧の気圧深度が15%大きくなると仮定した。

(2) 気圧の変化が及ぼす潮位偏差への影響

各モデル台風において、台風規模が変化する前後での気圧深度の変化量を示したのが図-6である。潮位偏差が大きくなる有明海湾奥部の住之江では、台風規模の変化に伴う気圧深度の変化量は7.2 hPaであり、この場合の吸上げ効果に伴う潮位偏差の変化は7 cmと小さい。また、モデル台風2では、福所江～太良の有明海湾奥部西側で気圧深度の変化量に差が大きく、他の地点は、モデル台風1と同様の特性を持つことが分かる。

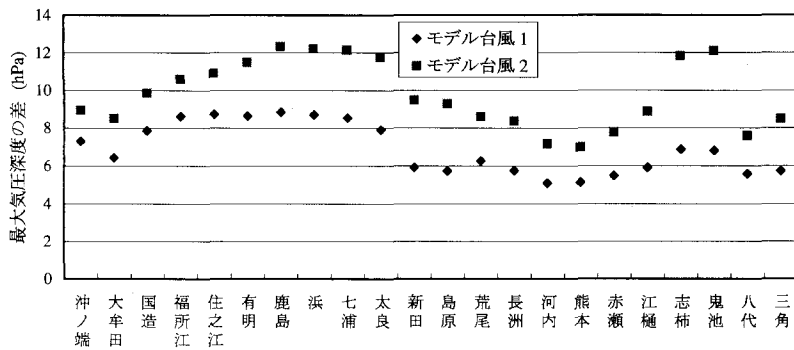


図-6 台風規模の変化に伴う最大気圧深度の比較

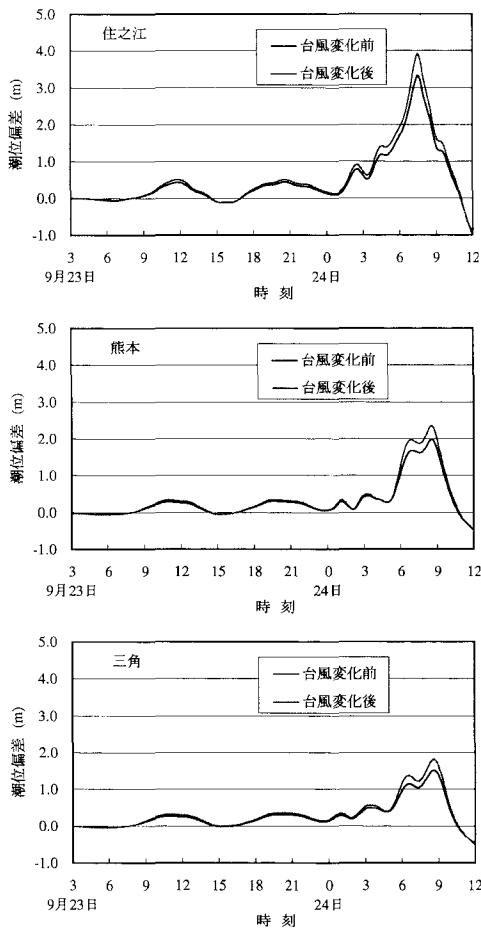


図-7 潮位偏差の時間的変化 (モデル台風1)

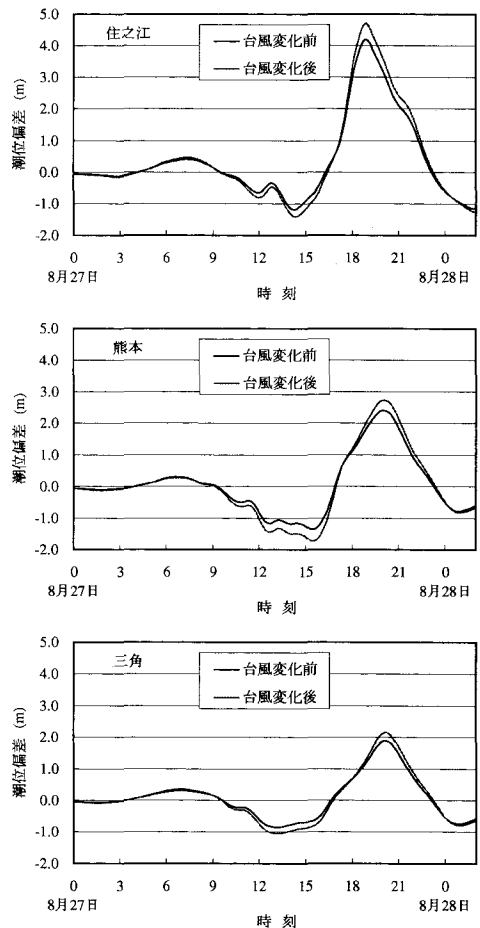


図-8 潮位偏差の時間的変化 (モデル台風2)

(3) 潮位偏差量の変化

図-7~8は、評価地点を代表して、住之江、熊本、三角をモデル台風が通過した際の潮位偏差の時間的変化を示したものである。モデル台風1では、台風接近時の台風規模の影響は認められず、台風通過時の潮位偏差量が

大きくなる。一方、モデル台風2では、台風接近時に有明海の潮位が降下する。これは、モデル台風2では、台風接近時の気圧低下で有明海湾口部の潮位が上昇し、湾奥部の水が引き戻されることによると考えられる。この潮位の降下は、台風規模の変化にも影響され、台風規模

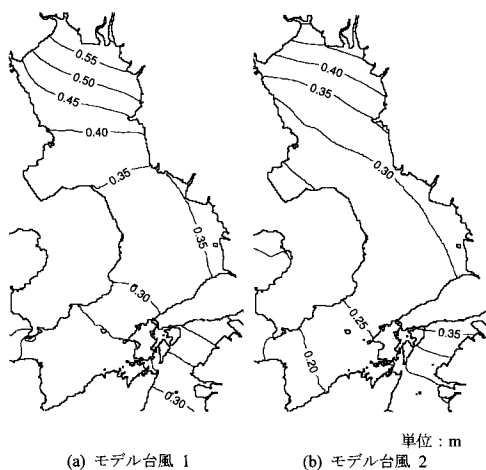


図-9 台風規模の変化に伴う潮位偏差の変化量の分布

が大きいほど降水量も大きくなる。熊本では、台風規模の変化に伴う潮位降下量の増加が潮位上昇量の増加とほぼ等しく、潮位偏差の増加を抑える働きをすることが分かる。なお、両モデル台風とも、潮位上昇時の水位の立ち上がりは、台風規模が大きいほど急になり、これまで以上に高潮の予知、警報システムおよび避難体制の整備が重要になると考えられる。

図-9は、台風規模が変化する前後での高潮による潮位偏差の変化量の分布を示したものである。台風の変化に伴う潮位偏差の変化量は、有明海内部の各評価地点で20~55 cmに達し、湾奥部ほど大きくなる。また、今回の解析では、モデル台風1に比べてモデル台風2が台風規模の変化により気圧深度が大きくなっているにもかかわらず、潮位偏差の変化は小さかった。これは、図-8で見られた台風接近時の潮位の降下が台風通過時の有明海湾奥部での潮位の上昇を小さくさせるためと考えられる。これにより、有明海付近を北上する台風では、ある程度以上規模が大きくなっても潮位偏差に与える影響は抑えられることが予想される。

5. ま と め

海面上昇量の予測には幅があるが、IPCCの第3次評

価報告書では最良推定値は48 cmとされている。今回の解析は有明海のみでの検証であるが、台風の変化に伴い高潮の潮位偏差が20~55 cm大きくなることが分かった。これは、台風規模の変化による潮位偏差の増加が海面上昇量にほぼ匹敵するものになることを示し、沿岸域における地球温暖化対策には海面上昇と同様に台風の変化を考慮する必要があると考えられる。しかしながら、台風規模の変化に伴う高潮潮位偏差の増加量は、場所、台風の経路などにより変化する点で海面上昇とは異なり、地球温暖化に配慮した海岸の管理に反映させるには、より詳細にそのリスクを評価する必要がある。

謝辞：本研究は、農林水産省委託プロジェクト「地球温暖化が農林水産業に与える影響の評価及び対策技術の開発」において実施したものである。ここに記し、関係各位に謝意を申し上げます。

参 考 文 献

- 久保田富次郎・大場和彦・山田正雄 (2002): 台風9918号による干拓地の高潮災害と作付への影響, 農業土木学会誌, 70巻5号, pp. 49-52.
- 国土交通省 (2002): 地球温暖化に関する基礎調査 一気候シナリオの検討一 報告書, pp. 69-73.
- 国土交通省 (2002): 地球温暖化に伴う海面上昇に対する国土保全研究会報告書, pp. 7-12.
- 滝川 清 (2000): 台風9918号による不知火海高潮災害 その残したもの, 土木学会誌 Vol. 85, pp. 41-45.
- 吉村 純 (2002): 地球温暖化に伴う台風の発生数と強度の変化, 自然災害科学 No. 21-2, pp. 104-108.
- IPCC (2001): Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp. 666-673.
- Henderson A., H. Zhang, G. Berz, K. Emanuel, W. Gray, C. Landsea, G. Holland, J. Lighthill, S-L. Shieh, P. Webster and K. McGuffie (1998): Tropical Cyclones and Global Climate Change: A Post-IPCC Assessment, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 79 No. 1, pp. 19-38.
- Knutson T. R. and R. E. Tuleya (1999): Increased hurricane intensities with CO₂-induced warming as simulated using the GFDL hurricane prediction system, Climate Dynamics Vol. 15, pp. 503-519.