福島県の降雨極値を考慮した内水氾濫ポテンシャルマップ

福島大学大学院共生システム理工学研究科 川越 清樹

福島大学共生システム理工学類
大田 敏長

国土交通省新庄河川国道事務所 佐藤 雄太

1. はじめに

将来気候の展望を求めるために世界各国の研究機関で開発された全球気候モデルの出力結果から、人為起源 の温室効果ガス排出による気候システムの温暖化と並行した降雨量と豪雨(ここでは100mm/dayと定義される) 頻度の増加、無降雨出現日数の増加の降水事象が推計されている¹⁾。これらに示す降水事象の極端化より、水 資源、水災害に対するリスクの更なる高まりが見積もられており、温暖化による水管理の必要性も重点的な課 題になること指摘されている²⁾。現在まで開発されている主たる全球気候モデルのアウトプットはグリッドセ ル解像度0.5°から2.5°程度である。そのため、温暖化影響評価研究は、巨視的なグリッドセル解像度と直接 対応できる広範領域を中心に進められてきた3)。しかしながら、温暖化の影響を受けるものは、国レベルの巨 視的な領域にとどまらず、地域社会も含まれている。近年の研究成果や報道等により地域社会における温暖化 影響の関心が高まり、「自分の居住する地域がどのような温暖化の影響を受けるのか?」、「温暖化による影 響を最低限にするための対策は何か?」という地域レベルの問題意識が現れている。これに対し、巨視的スケ ールの解像度を細かなグリッドセル度に変換するためのダウンスケーリング手法の開発、もしくは、細解像度 による数値気候モデルの開発が進められている⁴。また、数値気候モデルのアウトプットを細情報化する一方 で、これらを地域社会に反映するための影響評価モデルの開発も取り組まれている⁵⁾。こうした影響モデル開 発に関すれば、空間的な情報を理解できるメリットより、数値地理情報を利用する事例が多く進められている。 研究機関や行政により作成された数値地理情報を用いることで影響評価マップをアウトプットする試みがな されることにより、影響の範囲を理解できること、影響により脆弱化する地域を示すことができること等に効 用が得られる。また、空間的情報の明示は、温暖化に必要とされる緩和策と適応策の検討に重要な資料となる。

本研究では、気候システムの温暖化による影響モデル開発の一環として、 福島県を対象に近年最も被害 の多い水災害を明らかにすること、② 水災害の原因になる降水情報を明らかにすること、③ 温暖化影響に 利用できるモデルの基盤をつくることに取り組み、降雨極値を考慮した内水(氾濫)ポテンシャルマップのモデ ル構築を試みた。

2. 福島県の水災害の現状

気候システムの温暖化に伴う水災害への影響を求める前段として、近年、福島県に生じた豪雨に起因する水 災害件数を国土交通省監修の水害統計(平成10年から平成19年)を参考に調査した。その結果を図-1に示す。

^{*} Development of Inland flood potential map due to extreme rainfall in Fukushima prefecture, Seiki KAWAGOE and Toshinaga OHTA, MILT by Yuta SATO

福島県に生じた水災害の内,内水による災害が 59。 5%と過半数を占めている。この結果は,築堤により 外水対する対策整備が進んでいる一方で,堤内と堤 外の分離に伴う内水の排水整備が脆弱であることを 示している。また,築堤整備個所は保全重要度の大 きい市街地を中心とするものの,市街地の土地被覆 がコンクリート化により難透水の状態になっている ことや,都市圏の下水道整備の許容能力不足と老朽 化等も内水による水災害の多い原因として挙げられ る。これに加えて,都市空間に生ずる微気候変化や



図-1 福島県の水害割合(平成10年から平成19年)

気候システムの温暖化の兆候と懐疑される短時間降雨量の増加も加わり,高度化する都市発達に伴う内水整備 が外水対策と並行せずに不足した状態にあることを示唆している。

こうした内水の大規模な被害は、平成22年7月6日にも郡山市の中心街でも認められている。郡山市の AMeDASの降雨状況を検証すると、被害時に最大1時間降雨量(19:00~20:00)として40.5mm、2時間降雨量と して61.0mm、3時間降雨として68.5mmの豪雨が認められ、郡山駅前の商店街が深さ約50cmで水没した。こ の内水により生じた被害について、現地調査、不特定多数の住民の聴取した結果を整理すると以下の①から⑦ に示すとおりである。

平地商店街(地下商店街除く)は、約5時間にわたり水没した。

電車などの交通機関は運休。

地下街は2日後も排水作業を継続している。

下水逆流により汚水が商店街に流れ出た。(衛生消毒するまで営業は再開できない。古くから居住している商店は浸水による被害には慣れており、保健所までの報告を円滑にできる状態である。その一方で、新しい商店は汚水が流れでたことによる知識皆無。)

汚水が流れた食品店の内装は、すべて買い換えの必要あり。

シャッター閉鎖などで止水を試みるも、道路の自動車交通により水没個所では波が生じシャッターが 変形し、買い換えの必要あり。

冷蔵庫関連はすべて買い換えの必要あり。(近年は冷蔵庫の奥行きを狭めるため、モーターが冷蔵庫下 部に設置されている。そのため、モーターが水没。)

基本的に死傷者等の人命にかかわる被害はないものの,資産や営業,流通に大きな被害が認められている。 特に,郡山市街地の商店街が水没したことにより,営業に関わる資産が損傷,全壊した事例が多く確認された。

こうした被害により、水没時だけでなく長期間にわたり商業機関の営業に支障がでること、大型計器の買い換 えを余議されていることで地域住民に大きな打撃を与えた。

内水発生の原因として、現況の市街地の下水システムが合流式、許容排水能力が35mm/hであり、許容能力 を超過しうる降雨が生じたことが推測される。こうした現状に対し、既に降雨極値の増大を踏まえた下水道許 容能力の拡張は計画されていたものの、施工段階まで進んでいなかった状況である。

降雨量の増加,社会システムの整備の不足は、気候システムの温暖化と社会投資できる予算が切迫する可能 性を含む今後において、更に顕在化する可能性がある。そのため、複数地域に対する温暖化,および降雨量増 大に対する水災害リスクを明らかにして比較すること、各地域の現況、将来のリスクを定量的に示し、社会整 備予算に応じた水害リスクに対する適応策を検討することが 今後の重要課題になる。

3. 福島県の降雨極値の分布

福島県で数多く認められる内水に対する誘発原因が短時間の極大降雨である。そこで、AMeDASの降雨量データ、降雨量の平年的、かつ地域的な特徴を示す空間解像度 lkm×lkmのメッシュ気候値 2000 を利用し2時間、3時間の降雨量極値空間分布データの情報化に取り組んだ。

情報化の解析方法は以下のとおりである。

AMeDAS 毎に経年(1980 年から 2009 年の 30 年間)の最大 2 時間,3 時間降雨量を求め頻度解析し,各再現期間に対 する2時間,3時間雨量の極値を求める。

AMeDAS の位置する再現期間に応じた降雨極値と暖候期 (4月から11月)の平年値の関係を線形式で示す。つまり、

平年値を用いた降雨極値変換式を開発する。



降雨極値変換式にメッシュ気候値 2000 の暖候期平年値データを代入することで、再現期間に対する降雨 極値の分布データを作成する。

解像度 1km×1km の降雨情報について内挿線形補間を行い、解像度 250m×250m に変換する。

解析方法①の降雨極値の頻度解析には,確率分布型として一般化極値分布である GEV(Generalized Extreme Value)分布,母数推定法として PWM(Probability Weight Moment)法を用いた。極値分布は,母集団に対する最大値および最小値の漸近分布である。そのため,降雨や洪水流量の最大値抽出に有効な確率分布である。なお,確率分布の結果は,福島各地の AMeDAS の 90%以上が SLSC=0.04 以内となり,統計的な整合がとれた。

解析方法②の降雨極値変換式は、牛山らにより求められた AMeDAS の暖候期平年降水量と日降雨極値の統計的に有意な相関を利用⁹して、開発した⁷ものを参考にしている。暖候期平年降水量と再現期間 100 年の 2 時間,3 時間の降雨量極値の関係式を図-2 に示す。関係式より、すべての再現期間が回帰式で相関係数 R=0.60 以上の強い関係を示すことができた。2 時間,3 時間降雨量も統計的に有意な関係を示すことができ,変換式として利用して問題ないといえる。また、この強い相関性の結果は、2 時間,3 時間の降雨極値は、地域的気候に影響されて出現していることを示唆している。つまり、雲のでき方、風向の規則性に影響する地形や土地利用の条件により気候特性を表すことができ、その気候特性に応じて短時間降雨極値の傾向が地域毎に異なることを示していると解釈できる。ただし、試行的に1 時間降雨を対象に暖候期平年降水量との比較を行ったものの、その相関係数は R=0.10 以下にとどまり強い関係を示すことができなかった。時間スケールとして、地域の気候特性を統計的に示すことができるのは、継続降雨2時間からであり1時間の降雨については気候特性より判別することが困難と推測される。解析方法③、④を通じて求められた再現期間 100 年の2 時間、3 時間の降雨量極値空間分布データを図-3 に示す。2 時間降雨の結果より、奥会津地方の桧枝岐村付近を除くと、概ねの福島県の高標高の山地が 120mm/2h 以上の領域になることが示されている。また、気候的な標高依存性が反映されて、標高が低くなるほど2 時間降雨極値の量が少なくなることが図より理解できる。特に猪苗代周辺

と福島盆地は、概ね80mm/2hから90mm/2hの範囲の降雨 量になることが見て取れる。3時間降雨の結果より、猪苗 代、奥会津地方の桧枝岐村付近、中通り中部から北部を除 くと概ね120mm/2h以上の領域になることが示される。つ まり、2時間の降雨極値の発生以降で、30mm/hから 40mm/hの降雨が認められる地域が数多く存在することを 示唆している。また、図より50年に一度の3時間降雨で 降雨量が少ない地域でも80mm/3h以上になることが解析 より理解できる。平成22年7月6日に生じた郡山市の降 雨よりも多い値であること、標高依存の少ない低地でこの ような降雨極値が発生することを考慮した場合、現況の対 策を更に整備しない限り、今後も内水被害が認められるで あろうことを示唆している。また、気候システムの温暖化 により降雨極値、豪雨頻度の増加を考慮すれば、更に内水 被害が短い周期で生ずる可能性がある。

4. 内水評価とマップ化

本章では、国土数値情報より提供されている解像度 250m×250mの標高データ、土地利用データ、ならびに降 雨極値解析により求められた空間解像度250m×250kmの 2時間,3時間の降雨量極値空間分布データを利用し、近 年,福島県において水害としての発生割合の大きい内水に ついて, 簡易的な評価モデルを作成し, ポテンシャルとし てのマップ化を試みた。なお、内水評価より、河道(外水) との地形的な関係性を把握しなければならないが,ここで は、若松らにより分類された地形条件を基に9、山地河道 を無堤、それ以外は堤防が存在していると仮定し河道を 2m 高いものとした。土地利用は、雨水浸透能をモデルに 反映するために用い、村井ら¹⁰⁰の浸透能の提案を土地利 用に応じて設定した(以上の数値地理情報は図-4に示すと おりである。)。簡易的な評価モデルは平面2次元不定流 解析に基づいている。以下に利用した連続式を式(1),運 動方程式を式(2), (3)に示す。





$$\frac{\partial t}{\partial t} + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \qquad (1)$$

$$\frac{\partial (V_x h)}{\partial t} + \frac{\partial (V_x^2 h)}{\partial x} + \frac{\partial (V_x V_y h)}{\partial y} + gh \frac{\partial h}{\partial x} = ghI_x - \frac{gn^2 V_x \sqrt{V_x^2 + V_y^2}}{h^{\frac{1}{3}}} \qquad (2)$$

$$\frac{\partial (V_y h)}{\partial t} + \frac{\partial (V_y^2 h)}{\partial y} + \frac{\partial (V_x V_y h)}{\partial x} + gh \frac{\partial h}{\partial y} = ghI_y - \frac{gn^2 V_y \sqrt{V_x^2 + V_y^2}}{h^{\frac{1}{3}}} \qquad (3)$$

ここで、 $V_{x,y}$: x, y 方向の流速、h: 水深、t:時間、g: 重力加速度、n: 粗度係数(水理公式集を基に土地利用に応じて決定)、I: 地形勾配である。計算ケースとして、降雨発生直後、3時間後、6時間後の内水マップを作成した。

再現期間 100 年の降雨極値を利用した解析結果は図-5 に示す通りである。降雨発生直後のマップよりコン クリート被覆された市街地を中心に内水エリアが存在している様子が見て取れる。福島圏,郡山圏,会津若松 圏,いわき圏に90mm以上の表面水のオーバーフローが認められることが空間的に明らかにされている。また, 浜通りに点在する市街地でも前述市街地よりも小規模な面積で表面水のオーバーフローが認められるのが特 徴的である。3 時間後になると表流水により市街地の至る所で内水が生じていることが明らかである。それは 市街地の中心部に限らずに,その近辺にも明らかに示されている。6 時間後になると表流水が収束し,福島圏, 郡山圏,会津若松圏,いわき圏といった市街地の中心部のみ内水が認められることがわかる。特に,福島圏, 郡山圏は内水面積が広く示されており,内水被害のポテンシャルが大きいことが示されている。 これらの結果は空間的な内水ポテンシャルを示すだけでは なく、例えば、3時間以内に市街地周辺の内水しうる地域で排 水処理を行えば、内水リスクの高い地域の災害軽減に繋がるこ とも示唆しており、どのポイントで内水処理すべきか検討する ための資料としても有用である。



5. まとめ

凶-0 下小笠脯刀印

福島県の2時間,3時間の降雨極値を線形変換式より求め、標高,土地利用の数値地理情報と重ね合わせ解 析することで内水ポテンシャルマップを開発した。その結果,以下の結論を得ることができた。

福島圏、郡山圏、会津若松圏、いわき圏の内水ポテンシャルの高さを空間的に明らかにした。

浸水深と面積から中通市街地(福島圏,郡山圏)の内水ポテンシャルが特に高まることを空間的に明らか にした。

内水ポテンシャルマップより、市街地周辺に対する内水箇所に対策整備を行うことで、リスクの軽減が 図れることを時空間的に明らかにした。

今後は、下水整備情報(図-6参照)も加えることと、近傍の社会整備状況、および蒸発効果などの自然現象も 踏まえながら、モデルの高度化を図り、最終的な内水ポテンシャルマップを作成する意向である。また、モデ ル開発後は、全国規模、気候システムの温暖化を踏まえた解析に取り組む。

謝辞:本研究は環境省地球環境研究総合推進費(S-8)の研究助成によって行われた。ここに記して謝意を示 す次第である。

参考文献

- 1) (例えばHasegawa, A., and Emori, S.: *Tropical cyclones and associated precipitation over the western North Pacific; T106 atmospheric GCM simulation for present and doubled CO2 climate*, SOLA, Vol.1, pp.145-148, doi:10.2151/sola, 2005.
- 2) 例えば風間聡・沖大幹:温暖化による水資源への影響,地球環境, Vol.11, No.1, pp.59-65, 2006.
- 3) 例えばHirabayashi Y., S. Kanae, S. Emori, T. Oki, M. Kimoto: *Global projections of changing risks of floods and droughts in a changing climate*, Hydro. Sci. Journal, Vol.53, pp.754-772, 2008.
- 4) (例えばIizumi, T., M. Nishimori, and M. Yokozawa : *Combined equations for estimating global solar radiation: Projection of radiation field over Japan under global warming condition by statistical downscaling.* Journal of Agricultural Meteorology, Vol.64, pp.9-23,2008.
- 5) (別えばYuji Masutomi, Kiyoshi Takahashi, Hideo Harasawa and Yuzuru Matsuoka : *Impact assessment of climate change on rice production in Asia in comprehensive consideration of process/parameter uncertainty in general circulation models*, Agriculture, Ecosystems & Environment, Volume 131, Issues 3-4, pp. 281-291, 2009.
- 6) 牛山素行・寶馨: AMeDASデータによる暖候期降水量と最大1時間・日降水量の関係,水文・水資源学会 誌, Vol.13, No.4, pp.368-374, 2004.
- 7) S. Kawagoe, S. Kazama, and P. R. Sarukkalige, *Probabilistic modeling of rainfall induced landslide hazard assessment, Hydrology and Earth System Sciences*, Vol.14, Iss. 6, pp.1047-1061, 2010.
- 若松加寿江・松岡昌志・久保純子・長谷川浩一・杉浦正美:日本全国地形・地盤分類メッシュマップの 構築,土木学会論文集,Vol.759(I-67), pp.213-232, 2004.
- 9) 村井宏・岩崎勇作:林地の水および土壌保全機能に関する研究(第一報),林試研報, No.274, pp.23-84.