特集 気候変動適応策と不動産問題【論説】

東京都市圏の水災害リスクと不動産への影響

Impact of water-related disaster risk on real estate in the Tokyo metropolitan area

Koji DAIRAKU : Senior Researcher, National Research Institute for
Earth Science and Disaster Prevention

大楽 浩司*

Yoshiki YAMAGATA : Principal Researcher, National Institute for
Environmental Studies

山形与志樹**

Junpei HIRANO : Teikyo University

平野 淳平***

Hajime SEYA : Hiroshima University

瀬谷 創****

1. はじめに

人間活動に起因する地球温暖化による気候変動の影響は、生態系、淡水資源、食糧、産業、健康など広範囲の分野に及ぶ。緩和策を講じたとしても気候変動は数世紀にわたって続くため、今後さらに頻度が上がる可能性がある異常気象（極端な高温、台風・梅雨などによる集中豪雨、渇水）が海面上昇等と重複して発生した場合、これまでの気候の定常性を仮定したリスク評価に基づく都市・地域計画では対処できないことが懸念される。

水災害リスクを含む東京の自然災害リスクは世界的に見ても最も高い水準にあり、例えばミュンヘン再保険会社が2002年に出したレポート（ミュンヘン再保険会社、2002）において、世界主要都市の自然災害リスク指数を、災害危険度（hazard）、脆弱性（vulnerability）（都市の安全対策水準、住宅密度、住宅の構造特性を数量化）、リスクにさらされる経済的価値（exposed values）の三つの観点から算出した結果によれば、ワースト1位である東京・横浜の災害リスクレベ

ル710は、ワースト2位のサンフランシスコ167、ワースト3位のロサンゼルス100を大きく引き離すものとなっている（高橋、2012）。低平地に多くの資産と人口が集中して分布する東京都市圏では、将来の人口・土地利用・世帯数など社会経済状況の変化や、地球温暖化の影響に伴う降水量・豪雨発生頻度の増大などの影響を受けて水害リスクが増大する可能性が懸念されており、適応策の検討は喫緊の課題となっている（国土交通省、2015）。

本稿では、1）適応策の費用便益の定量的比較を可能とする高解像度土地利用シミュレーションモデルと社会経済シナリオ、2）気候変動による水害の頻度や規模等の変化と社会経済シナリオの変化の相対的な影響についての確率的水害リスク評価、について紹介し、水災害リスクの不動産への影響について考察を行った。

2. 適応策の定量的評価

2.1. 土地利用シミュレーションモデル

適応策は、順応（Accommodation）、防護

大楽 浩司*（だいらく こうじ）防災科学技術研究所 主任研究員

山形与志樹**（やまがた よしき）国立環境研究所 主席研究員

平野 淳平***（ひらの じゅんぺい）帝京大学 講師

瀬谷 創****（せや はじめ）広島大学 助教

(Protection), 撤退 (Retreat) という三つのオプションに分けられる場合が多いが, このうち順応オプションの一つと位置づけられるのが, 保険市場等の市場メカニズムを通じた家計や企業の災害リスク管理である. この誘導の実効性を担保するのが, 災害リスクが地価に反映されているという事実である (横松, 2003). したがって, 水災害リスク情報に対する住民・企業の認知を高め, 立地や資産価値に反映させていくことが災害に強いまちづくりを進めていく上で極めて重要である. 一方で, 住民・企業が災害リスクを認知していない場合, 堤防の強化等の保護(防護)や, 土地利用規制を含む撤退についても検討する必要がある.

順応や防護オプションと比べると, 撤退オプションは, 土地利用規制施策等で人間の経済活動を危険度の高い地域から撤退させるというものであり, その実行は他の二つと比べてはるかに難しい. しかし, 東日本大震災を契機に土地利用規制に関する議論は高まりをみせており, 国土交通政策研究所 (2011) 等災害リスクに基づく土地利用規制に関する包括的な報告書もまとめられつつある. 海外での事例については, 中道ら (2013) を参照されたい.

本稿では, 従来のハード施策での防護だけでなく, 建築規制 (建物1階部分のピロティ化) 等を含む順応と, 撤退オプションを選択肢に入れ, それらの費用便益の定量的比較を可能とする東京都市圏全域における町丁目単位の土地利用シミュレーションモデルを紹介する (Yamagata *et al.*, 2013).

図1 土地利用シミュレーションモデルの概要

図1に示されるモデルは, 建物市場を考慮した応用都市経済モデル (堤ら, 2012) の土地利用部分を踏襲したものである. エージェントとしては, ①家計, ②地主, ③不動産ディベロッパーを考え, 市場として土地市場と建物床市場を考慮している. 各ゾーン (モデル構築単位, 例: 市区町村) において, 土地市場では, 地主による土地供給とディベロッパーの土地需要が均衡するところで「地代」が決定され, 建物床市場では, ディベロッパーの建物床供給と家計の建物床需要が均衡するところで「賃料」が決定される. 家計は, この賃料, 所得, 及びその他各ゾーンに固有の地域要因に反応して, どのゾーンに立地するかを確率的に決定する. 土地は, 外生的に与える各ゾーンの「土地供給可能面積」以内で供給可能であると仮定し, この値を調整することで, 土地利用規制に関するシミュレーションを行うことができる. 既往研究では, 市区町村をベースとしたゾーン単位でモデルが構築されることが多かったのに対し, Yamagata *et al.* (2013) では, 東京都市圏全域を対象に町丁目単位でモデルを構築し, 比較的大規模なものとなっている. このような町丁目単位でのモデリングにより, 都市のコンパクト化 (容積率緩和) といった緩和シナリオと, 土地利用規制といった適応シナリオを空間詳細に評価することが可能となった. しかし, 町丁目のような単位での立地選択においては, 地域固有要因に支配される部分が大きくなるため, 定式化においてはいくつかの工夫を行っている. また, このモデルは複数世帯タイプ¹を考慮しており, 世帯タイプによる立地特性の差異を表現することが可能である点にも特徴がある. この点は超高齢社会を迎えた我が国において重要であると考えられる. 一方で, 町丁目単位で均衡を仮定している点には課題も多い.

2.2. 2050年社会経済シナリオの構築

本モデルを用いて, 適応と緩和のコベネフィットを考慮し, 2050年土地利用に関する次の三つのシナリオを構築した (図2).

A) Business as usual (BAU)²

B) 緩和シナリオ: 「集積地」居住への補助金

図2 2000年に対する各社会経済シナリオ（左：BAU，中：緩和，右：緩和・適応）の2050年時点での変化率（上図：世帯数，下図：床面積）

12万円/年³

C) 緩和・適応シナリオ

- ・土地利用規制シナリオ：B) + 土地利用規制（概ね床上浸水に対応する浸水深0.5m以上の水害危険地域は，土地供給可能面積を50%減少させる）。

B) の緩和シナリオは，都市のコンパクト化シナリオである⁴。都市のコンパクト化は，立地適正化計画の下，我が国の目指す都市構造の方向性となっている。コンパクトシティにおいては，職住近接による交通トリップ長の削減が重要となる。そこで，ここでは従業者密度の高い町丁目の魅力を相対的に向上させることを試みた。B) の緩和シナリオは，富山市の『富山市まちなか住宅家賃助成事業』を参考に各地域のオフィスの集積地から500m未満のゾーンを補助金の対象としたもの

であり，C) の緩和・適応シナリオにおける土地利用規制シナリオは，撤退施策として，都市集積地から500m以上離れた水害危険地域を土地利用規制の対象とし，そこでの土地供給可能面積を50%減少させるものである。日本では，名古屋市他で水害危険区域指定と建築物規制が行われているが，緩和策，特にコンパクトシティのような土地利用施策との連携の視点は入っていない。このような施策の相乗効果，得失相反について定量的な検討を行うことは非常に重要であるといえる。

3. 東京都市圏の水害リスク評価

3.1. 確率的水害リスク評価

国土交通省河川局より発行されている「水害統計」に基づく調査結果から，1993年から2002年の10年間に於いて，全国では水害被害額に占める内水氾濫の割合は約半分であったが，東京都では約80%であった（国土交通省，2005）。比較的，堤防が整備された都市部では，内水氾濫が防災対策の課題となっている。

平野・大楽（2012），大楽・平野（2013）では水害の被害額を算出する方法の一つであるF-D法（Frequency-Damage method）に基づき，内水氾濫の発生頻度と被害規模との関係を水害リスクカーブによって表現し，都道府県または市区町村の単位で内水氾濫に関するリスクと，その地域性を定量的に評価する手法を開発した。F-D法の基本的な考え方は，式(1)に示すように罹災件数と1件当たりの平均的な被害額の積に基づいて合計被害額（年間被害額）を算出するものである。

¹ A. 高齢単身（65歳以上），B. 若中年単身（65歳未満），C. 高齢夫婦（夫婦どちらかが65歳以上），D. 若中年夫婦（夫婦両方65歳未満），E. 片親と未婚子供，F. 夫婦と未婚子供；G. その他

² 2050年の東京都市圏の総人口は，国立社会保障・人口問題研究所の2030年までの世帯タイプ毎の変化率予測の全国平均値（高齢単身（2.07），若中年単身（1.07），高齢夫婦（1.39），若中年夫婦（0.66），夫婦＋子（0.69），片親＋子（1.32），その他のほか（0.85））を，対数関数で外挿して取得した。

³ 年12万円という設定は，都市のコンパクト化に積極的に取り組んでいる富山市の『富山市まちなか住宅家賃助成事業』における3年間を限度とした1万円／月（12万円／年）の助成を参考にした（ただし，本モデルは静学モデルであるため，3年間といった限度を設けることはできない）。

⁴ これは極端シナリオであり，実際の都市計画への直接の適用を意図したものではない。しかし，多くの自治体の将来計画におけるコンパクトシティ像が，漠然としたイメージ図に留まっている現状を勘案すれば，このようなシミュレーションによってイメージ図を定量化することは有用であると考ええる。

図3 確率的水害リスク評価モデル（大楽・平野，2013より）

$$L = (F \times N) \times (D \times E) \quad (1)$$

ここで、 L ：年間被害額、 F ：罹災率、 N ：世帯数、 D ：平均損傷率、 E ：世帯当たり平均一般資産価値とする。

罹災率(F)は年間の罹災世帯数を全世帯数(N)で割った値として算出する。平均損傷率(D)は1世帯当たりの平均一般資産価値に対する罹災世帯の平均被害額の割合として算出する。一般資産価値は、国勢調査等の一般統計データに基づいて算出した（平野・大楽，2012；大楽・平野，2013）。平均損傷率(D)と罹災率(F)については、分布関数を当てはめた上でモンテカルロシミュレーションによって10,000年分の乱数を生成し、被害額を確率的に評価する。

3.2. 水害リスク評価

「水害統計」には、市区町村単位で水害の日付、原因、被災棟数、被災世帯数、被害額等が掲載されており、日本における過去の水害に関するデータとしては最も系統的かつ、網羅的な統計資料である。「水害統計」に掲載されている1961年～2009年までの市区町村毎の一般資産被害額と被災世帯数のデータを東京都、埼玉県、千葉県、神奈川県、茨城県についてデジタル化し、地理情報システム（GIS）で解析可能なデータベースを構築

した（平野・大楽，2014a）。この東京都市圏の『水害統計』データは、品質管理を実施の上、GISデータベースとして防災科学技術研究所（http://dil-opac.bosai.go.jp/publication/nied_tech_note/）とデータ統合・解析システム（DIAS）より公開している。

このデータベースを用いて、評価単価が掲載されている1981年～2009年の期間を三つの年代に分けて解析した（1980年代：1980～1989年，1990年代：1990～1999年，2000年代：2000～2009年）。また、過去の資産価値は評価単価を治水経済調査マニュアル（国土交通省河川局，2005）のデフレーターによって平成17年相当の額に補正した。罹災率(F)は年間罹災世帯数を総世帯数で割った値として定義する。罹災率は住民基本台帳世帯数のデータから対象とする各年代の平均世帯数(N)を求めて算出した。また、平均損傷率(D)は、年間罹災世帯当たり平均被害額を世帯当たりの平均資産価値で割った値として定義される。期間平均世帯数(N)と期間平均一般資産価値(E)は、対象とする各年代別の期間平均値を用いた。なお、式(1)における全てのパラメータは都道府県別に算出した。

三つの年代毎に東京の水害リスクを評価した結果、水害被害の年超過確率は上昇傾向であった

図4 東京の水害リスクの時間変化（10年平均）

(図4)．神奈川・千葉・埼玉・茨城も同様に水害リスクの上昇傾向を示していた．要素に分けて解析すると，罹災率(F)は若干低下傾向にあり，平均損傷率(D)は増加傾向であった．罹災率の低下傾向の理由の一つは防災対策によるものと考えられる．一方，都区部中小河川流域の水害脆弱地域で資産価値の増大と集中化が見られ，平均損傷率が顕著に増大していた．人間社会の脆弱性，暴露の変化により，東京の水害リスクが増大してきたことが示唆された．

気候変動と社会経済変化の水害リスクへの相対的な影響を評価するために，2100年相当のある一つの地域気候変化を考慮した分析と，2.2.の2050年社会経済シナリオ（BAU，緩和，適応/緩和シナリオ）を考慮した分析を実施した．将来の地域気候シナリオは，S8共通シナリオ第1版補稿気候シナリオ（花崎ら，2012）の2081年～2100年の日降水量値を使用した．降水量データの3.1.の確率的水害リスク評価モデルへの取り込みについては，罹災率(F)を日降水量頻度(P)で置換し被害額を推定する新手法（平野・大楽，2014b）を用いた．また，資産価値算出に用いる各パラメータのうち，床面積と世帯数について三つの2050年社会経済シナリオ（BAUシナリオ，緩和シナリオ，適応/緩和シナリオ）を用い，2050年時点の社会経済状況の変化が水害リスクに及ぼす影響について分析した．

図5は，東京において三つの2050年社会経済シ

ナリオ毎に，2000年代の水害リスクと2100年相当の気候変動との相対的なリスクの変化を示したものである．2100年相当の地域気候シナリオを考慮すると，気候変化に伴い水害リスクが増大する．一方，2050年時点のBAU，緩和，適応/緩和の三つの社会経済シナリオを考慮すると，いずれのシナリオの場合においても，地域全体として人口が減少するため，水害リスクは低下する．BAU，緩和シナリオでも水害リスクは現在に比べて低減するが，適応/緩和シナリオではさらに水害リスクが顕著に低減する．

これらの結果から，2100年に相当する地域気候変化が生じても，水害危険地域からの撤退等を含む災害に強い都市計画や防災対策等の効果的な適応策を実施していくことによって，より頑健な都市を形成できる可能性が示唆される．

4. まとめ

従来のなハード施策での防護だけでなく，建築規制等を含む順応や撤退の費用便益の定量的比較を可能とする町丁目単位の土地利用シミュレーションモデルの開発と，モデルを用いて適応と緩和施策の相乗効果，得失相反を考慮し，土地利用政策や補助金等が地代や賃料，世帯による立地選択に及ぼす影響について定量的に考慮し，構築した土地利用に関する2050年地域社会経済シナリオについて紹介した．

水害の被害額を算出する方法の一つであるF-D法（Frequency-Damage method）に基づき，都道府県または市区町村単位で内水氾濫に関するリスクと，その地域性を確率的に評価する手法を開発した．年代毎に東京の水害リスクを評価した結果，水害被害の年超過確率は上昇傾向であった．都区部中小河川流域の水害脆弱地域で顕著な資産価値の増大と集中化が見られ，人間社会の脆弱性，暴露の変化により，水害リスクが増大してきたことが示唆された．

2100年相当の地域気候変化と，2050年社会経済シナリオ（BAU，緩和，適応/緩和シナリオ）を考慮した水害リスク評価について紹介した．いず

図5 将来気候シナリオと社会経済シナリオによる東京の水害リスク
実線：2000年代，太実線：2100年相当の将来気候シナリオ，点線：BAU(左図)，緩和(中図)，適応/緩和(右図)の2050年社会経済シナリオ

れの社会経済シナリオの場合も，地域全体として人口が減少するため，水害リスクは低下する。水害危険地域からの撤退という適応策を含む適応/緩和シナリオでは水害リスクがさらに顕著に低減した。災害に強い都市計画や防災対策等の効果的な適応策を実施していくことによって，将来の気候変動にも頑健な都市を形成することが可能であることが示唆される。

不動産価格や保険市場等の市場メカニズムを通じた家計や企業の自然災害リスクの順応的管理には，自然災害リスクが地価に反映されている必要があるが，必ずしも反映されていない場合がある。気候変動も含め，自然災害に頑健な都市の形成には，自然災害リスクに対する認知を高め，立地や資産価値に反映させていく他，土地利用規制を含む撤退等，都市のコンパクト化施策等の中長期の都市計画と一体となった公的な施策も併せて検討していく必要がある。

謝辞：本研究は文部科学省による気候変動適応研究推進プログラム（RECCA）及び気候変動リスク情報創生プログラム（SOUSEI）の支援を受けて行われました。

引用文献

- 1) 大楽浩司，平野淳平：東京都市圏における水害リスク評価手法の開発。土木学会論文集B1(水工学)，69 (4) pp. I_1555-I_1560, 2013.
- 2) 花崎直太，高橋潔，脇岡靖明：日本の温暖化影響・適応策評価のための気候・社会経済シナリオ。環境科学会誌，25 (3)，pp.223-236, 2012.
- 3) 平野淳平，大楽浩司：東京都市圏における水害リスク評価手法の開発。防災科学技術研究所研究報告，80，

pp.21-26, 2012.

- 4) 平野淳平，大楽浩司：東京都市圏における水害統計データの整備。防災科学技術研究所研究資料，385，pp.1-6, 2014a. http://dil-opac.bosai.go.jp/publication/nied_tech_note/
- 5) 平野淳平，大楽浩司：降水量頻度分布を考慮した水害リスク評価手法の開発。土木学会論文集B1(水工学)，70 (4)，pp. I_1507-I_1512, 2014b.
- 6) 国土交通政策研究所：水害に備えた社会システムに関する研究。国土交通政策研究，98, 2011.
- 7) 国土交通省：水害対策を考える，2005. (https://www.mlit.go.jp/river/pamphlet_jirei/bousai/saigai/kiroku/suigai/suigai_3-3-2.html)
- 8) 国土交通省：水災害分野における気候変動適応策のあり方について～災害リスク情報と危機感を共有し，減災に取り組む社会へ～中間とりまとめ，2015. (<http://www.mlit.go.jp/common/001091553.pdf>)
- 9) 国土交通省河川局：治水経済調査マニュアル（案），2005.
- 10) ミュンヘン再保険会社：ミュンヘン再保険会社アニュアルレポート，2002.
- 11) 中道久美子，山形与志樹，瀬谷創：東京都市圏の気候変動緩和・適応策の相互作用に関する土地利用シナリオのCO2排出量評価。土木学会論文集D3(土木計画学)，69 (5)，pp. I_381-I_389, 2013.
- 12) 高橋裕：川と国土の危機。岩波新書，2012.
- 13) 堤盛人，宮城卓也，山崎清：建物市場を考慮した応用都市経済モデルの可能性。土木学会論文集D3(土木計画学)，68 (4)，pp. 333-343, 2012.
- 14) Yamagata, Y., Seya, H. and Nakamichi, K. 2013. Creation of future urban environmental scenarios using a geographically explicit land-use model: A case study of Tokyo. Annals of GIS 19 : 153-168.
- 15) 横松宗太：自然災害リスクの地域間配分問題，土木計画学研究・論文集，20 (1)，pp.17-32, 2003.