

# 水害リスクと居住環境に着目した ヘドニック分析：空間加法階層モデルを用いて

村上 大輔<sup>1</sup>・山形 与樹志<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 国立環境研究所 地球環境研究センター（〒305-8506 つくば市小野川16-2）  
E-mail: murakami.daisuke@nies.go.jp

<sup>2</sup> 国立環境研究所 地球環境研究センター（〒305-8506 つくば市小野川16-2）  
E-mail: yamagata@nies.go.jp

水害リスクに対するレジリエンスを高めることが我が国において喫緊の課題となっている。しかしながら、水害リスクの高い沿岸部は豊かな自然環境や良好な眺望を有する地域でもある場合が多く、水害リスクの高い沿岸部が魅力的な居住地域と認知されている可能性がある。この点を検証するために、本研究では横浜市を対象としたヘドニック分析を実施することで、水害リスクとその他要因（自然環境、眺望等）とのトレードオフを分析した。その結果、沿岸部においては海の正の側面だけが評価されており、海の負の側面である水害リスクは必ずしも適切に評価されていないとの示唆を得た。また、この点に対処するための適応策の重要性が示された。

**Key Words** : Flood risk, Hedonic analys, Spatial additive multilevel model, Condominium

## 1. はじめに

地球温暖化の進展に伴い、自然災害リスクへの適応の議論が活発化している。特に我が国においては、甚大な津波被害をもたらした 2011 年の東日本大震災以降、水害リスクに対するレジリエンス向上への関心が高まっている。一方で、水害リスクの高い沿岸域は豊かな自然環境や良好な眺望を有する地域でもある場合が多く、水害リスクだけではなく自然環境や眺望、利便性といったその他の要因も考慮しながら、魅力的かつレジリエントな沿岸都市を設計することが重要となる。

そのための第一歩として、本研究では、沿岸都市の一つである横浜市を対象に、水害リスクとその他要因（利便性、自然環境、眺望等）の経済価値を非市場財の経済価値を評価する代表的な方法の一つであるヘドニックアプローチ<sup>1,2)</sup>を用いて定量化する。ヘドニックアプローチとは、各要因を説明する変数（説明変数）を不動産価格に回帰することで各要因の経済価値を評価しようというアプローチであり、今日までに膨大なヘドニック研究が蓄積されてきた。例えば水害リスクに関するヘドニック研究は Merz et al. (2010)<sup>3)</sup>を、自然

環境に着目したヘドニック研究については Waltert and Schlapfer (2010)<sup>4)</sup>や Brander and Koetse (2011)<sup>5)</sup>を、それぞれ参照されたい。

沿岸都市を対象とした多くのヘドニック研究では海の正の経済価値が示されてきた。例えば Paterson and Boyle (2009)<sup>6)</sup>は海への近接性の有意な効果を、Yu et al. (2007)<sup>7)</sup>や Jim and Chen (2009)<sup>8)</sup>は海への眺望の有意な効果を、それぞれ示してきた。一方で、海からの負の要因である水害リスクについては、その経済価値が過小評価されていることがしばしば指摘されてきた<sup>9)</sup>。その一因には、不都合かつ想定外のリスクを過小評価するという心理的作用である正常性バイアス<sup>10)</sup>が影響していることが考えられる。水害リスクの負の要因として適切に反映されているか、それとも過小評価されているかを我が国で評価することは、わが国における水害リスク適応の第一歩として重要となる。

水害リスク等の経済価値を適切に評価するためには、ヘドニック分析のためのモデル（以下、ヘドニックモデル）を慎重に選択する必要がある。例えば、不動産価格を正確にモデル化するために

は次の 3 点を考慮する必要がある：(i)説明変数からの効果の非線形性；(ii)空間的従属性（空間的に近接した観測値が類似した傾向を示す性質）；(iii)住戸と棟の階層性（マンションデータを対象としたヘドニック研究の場合）．(i)は、必ずしも線形とは限らないため各説明変数からの効果を適切に捉える上で必要となる．また、(ii)と(iii)は不動産価格の分散構造を適切にモデル化する上で必要であり、それらを無視することは、第一種の過誤、即ち統計的有意性の過大推計が招くことが知られている<sup>11,12,13</sup>．しかしながら、筆者らの知る限り(i)～(iii)を考慮したヘドニック研究は Bruauer et al. (2013)<sup>14</sup>のみであり、また彼らは水害リスクは着目していない．

そこで本研究では、(i)～(iii)を考慮したヘドニックモデルを用いて横浜市における水害リスクとその他要因の各経済価値を評価する．その結果を踏まえて、水害リスクが同市において適切に反映させているかどうかを議論する．以降の構成は次のとおりである．まず 2 章では本研究で用いるヘドニックモデルを導入する．第 3 章では、同モデルを横浜市のマンション価格データに適用する．最後に第 4 章で分析結果を要約する．

## 2. ヘドニックモデル

本章では横浜市内の戸別マンションを対象としたヘドニック分析のためのモデルを導入する．

### (1) Basic Model : BM

片対数モデル(1)は最も基本的なヘドニックモデルの一つである．

$$\ln(y_{i-j}) = \mathbf{x}'_{i-j}\boldsymbol{\beta} + \varepsilon_{i-j} \quad (1)$$

$i$  と  $j$  はそれぞれ戸と棟の添え字、 $y_{i-j}$  は戸別マンションの価格、 $\mathbf{x}_{i-j}[P \times 1]$  は説明変数ベクトル、 $\boldsymbol{\beta}[P \times 1]$  は回帰係数ベクトル、 $\varepsilon_{i-j}$  は独立同分布に従う期待値 0、分散  $\sigma_\varepsilon^2$  の攪乱である．以降、(i)式を Basic model (BM) と呼称する．BM は性質(i)～(iii)を無視したモデルである．

### (2) Multilevel Model : MM

マンションの階層性（住戸－棟）を階層性を無視し手ヘドニック分析を実施した場合、回帰係数の標準誤差に深刻な下方バイアスが生じることが知られている<sup>12,15</sup>．従って、BM に棟毎の攪乱  $u_j$ （平均 0、分散  $\sigma_u^2$ ）を導入した Multilevel model (MM) (2)式もまた適用することとする．

$$\ln(y_{i-j}) = \mathbf{x}'_{i-j}\boldsymbol{\beta} + u_j + \varepsilon_{i-j} \quad (2)$$

マルチレベルモデルのヘドニック分析における有用性は Gelfand et al. (2007)<sup>12</sup>や Yamagata et al. (2013)<sup>13</sup>などで示されている．一方で、MM は依然として(i)非線形性と(ii)空間的従属性を無視している．

### (3) Spatial Additive Multilevel Model : SMM

そこで本研究では(i)～(iii)を考慮するモデルである Spatial additive mixed model (SMM) についても適用することとする．SMM は下式で定義される．

$$\begin{aligned} \ln(y_{i-j}) = & \mathbf{x}'_{i-j}\boldsymbol{\beta} + f_1(z_{1,i-j}) + \dots + f_q(z_{q,i-j}) + \\ & \dots + f_Q(z_{Q,i-j}) + s(lon_j, lat_j) + u_j + \varepsilon_{i-j} \end{aligned} \quad (3)$$

ここで  $z_{q,i-j}$  ( $q=1, \dots, Q$ ) は非線形効果を許容する説明変数、 $f(z_{q,i-j})$  は  $z_{q,i-j}$  の非線形効果を捉えるスプライン関数であり本研究では thin plate spline 関数<sup>16</sup>を用いる． $s(lon_j, lat_j)$  はマンション  $j$  の経度  $lon_j$  と緯度  $lat_j$  に依存する tensor product smoothing 関数<sup>17</sup>であり、これによりマンション価格の空間従属性をモデル化する．

次章では BM, MM, 及び SMM をヘドニック分析に適用することで水害リスクとその他要因の経済価値を評価する．

## 3. 実証分析

### (1) データ

本章では横浜市の中心 7 区（中区、西区、南区、磯子区、保土ヶ谷区、港南区、及び戸塚区）で 1993 年～2008 年の間に竣工したマンションを対象としたヘドニック分析を実施する（図 1, 2）．具体的には有限会社 MRC 提供の戸別分譲マンション価格データを用いる．その要約等計量は表 1 に示すとおりである．ここで、このデータは本来ヘドニック分析で対象とされる成約価格ではなく募集価格である．しかしながら、我が国のマンション市場において交渉等による値引きは稀であり、成約価格と募集価格は類似した傾向を持つと考えられる．実際に Shimizu et al. (2011)<sup>18</sup> がは両者が類似の分布パターンを持つことを確認している．従って、本研究で用いる募集価格データはマンション市場の状況を良く反映するデータと考えられる．

本分析では、南海トラフ沖地震発生時に想定さ

れる水害リスクに着目したヘドニック分析を実施する。同水害リスクは横浜市公開の想定深水深 (図 3) を元に評価する (後述)。

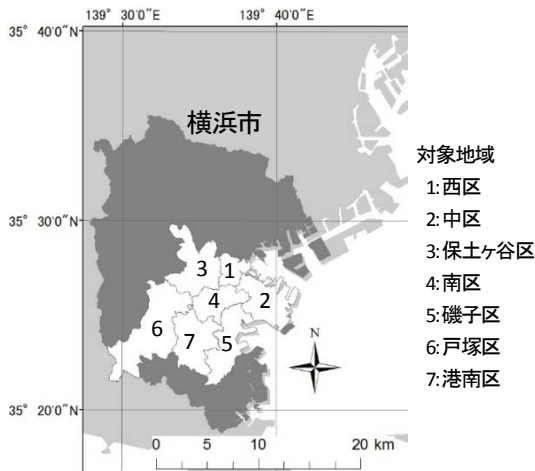


図 1 対象地域

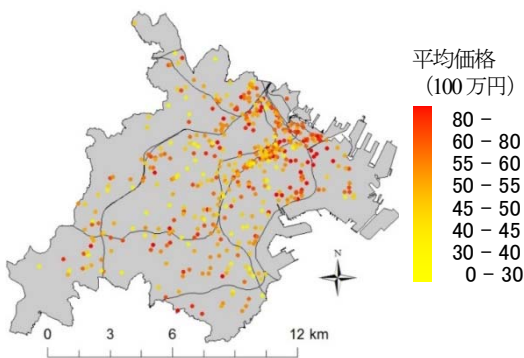


図 2: マンションの平均価格の空間分布

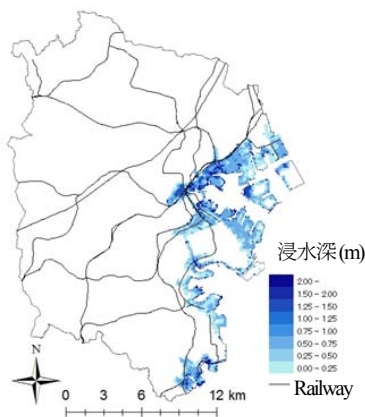


図 3: 浸水深 (南海トラフ地震を想定)

表 1: 戸別マンション価格の要約等計量 (万円)

統計量	値
平均値	4,087
中央値	3,920
標準偏差	1,090
最大値	32,000
最小値	1,182
標本数 (戸/棟)	692/27,446

説明変数は表 1 に示す通りである。連続変数には非線形効果を仮定している。但し、距離変数 (海までの距離等) については線形効果を仮定した。これは、非線形な距離変数の効果の解釈が必ずしも容易とならないためである (例えば海までの距離に非線形効果を仮定した場合、海から遠ざかるほど海からの効果が強まるという推定結果も得られるが、これは解釈不能である)。

水害リスク (Flood) は越村ら(2009)<sup>19)</sup>の人的被害関数(4)を元に評価した。

$$R(F) = \Phi \left[ \frac{F - \mu}{\omega} \right] = \int_{-\infty}^F \frac{1}{\sqrt{2\pi\omega^2}} \exp \left( -\frac{(f - \mu)^2}{2\omega^2} \right) df \quad (4)$$

ただし  $F$  は浸水深(m),  $\mu=3.92$ ,  $\omega=1.15$  である。この関数は浸水深別の死亡率を推計したものである。横浜市地震被害調査報告書 (<http://www.city.yokohama.lg.jp/somu/org/kikikanri/jishinhigai/>) ではこの関数を横浜市内の死者数の算定に用いている。また、浸水が起こりうる 1 階の住戸においては水害の負の影響が強くなると考えられるため、Flood と 1 階ダミーの積である Flood\_1F も説明変数として用いる。さらに、1 階の住戸であることの効果と 1 階の住戸が浸水を受けることの効果とを識別するために、1 階の戸であることを示すダミー変数 (1F) も導入した。

水害リスクを表す説明変数以外に、住戸の属性、戸の属性、眺望、自然環境、立地、及び時点を説明する変数を導入した (表 2 参照)。なお明らかに非線形を持ちうる時点 (Time) については、各モデルで非線形効果を仮定した。

各眺望変数は Digital Surface Model (DSM: 空間解像度 0.5m) を用いて記述された 3 次元空間上で可視域解析を行うことで評価した。その具体的な評価方法については Appendix.1 を参照されたい。また、それ以外の各説明変数は有限会社 MRC 提供のマンションデータ、及び横浜市提供の横浜市

表2：説明変数

分類	変数	説明	効果の仮定(SAMM)
戸属性	Area	部屋面積 (m <sup>2</sup> ) の対数	非線形
	Floor	階高の対数	
	1F	1階であることを示すダミー	
棟属性	SRC	鉄筋コンクリート構造を示すダミー	線形
	WRC	壁式鉄筋コンクリート構造を示すダミー	
	Num.dev	設計に関与したディベロッパーの数	
	Major dev.	関与したディベロッパーに示すMAJOR7 <sup>1</sup> の割合	
リスク	Flood	津波による人的被害確率	
	Flood_1F	Flood×1F	
眺望	Open view	視認できるメッシュ数の対数	非線形
	Green view	視認できる緑地メッシュ数の対数	
	Ocean view	視認できる海域メッシュ数の対数	
環境	Green	500m圏内の緑地メッシュ数の対数(視認の可否に関わらず)	
	Park dist.	最寄りの都市公園までの距離 (km) の対数	
	Ocean dist.	海までの距離 (km) の対数	
立地	Station dist.	最寄り駅までの徒歩時間 (分) の対数	線形
	C1 res.	第一種住居地域を示すダミー	
	C1 low	第一種低層住居地域を示すダミー	
	C1 high	第一種中高層住居地域を示すダミー	
	C1 exclusive	第一種住居専用地域を示すダミー	
	C2 res.	第二種住居地域を示すダミー	
	C2 high	第二種中高層住居地域を示すダミー	
	C2 exclusive	第二種住居専用地域を示すダミー	
	Industry	工業地域を示すダミー	
	Semi Ind.	準工業地域を示すダミー	
	Commerce	商業地域を示すダミー	
	Neigh. Com.	近隣商業地域を示すダミー	
	時間	Time	

<sup>1</sup>MAJOR7には住友不動産株式会社，東急不動産株式会社，三菱地所レジデンス株式会社（旧藤和不動産株式会社），株式会社大京，野村不動産株式会社，三井不動産株式会社，及び東京建物株式会社が含まれる

GIS データを活用して計算した。

## (2) パラメータ推定結果

BM, MM, SAMM (線形項のみ) のパラメータ推定結果を表2に，SAMMの非線形項の推定結果を図3に示す。なお，説明変数間に深刻な多重共線性が生じていないことは確認済みである。表2のAkaike information criteria (AIC) の比較より，MMの精度はBMを大きく上回っており，マンションのヘドニック分析に階層性を考慮することの重要性を再確認した。実際に，MMとSAMMの推定結果をみると，BMで無視される棟別分散 $\sigma_u^2$ は，戸別分散 $\sigma_e^2$ よりもはるかに大きい。BMの推定結果をみると全ての説明変数は5%以上の水準で統計的に有意となっているが，これは棟別分散を無視したことによる標準誤差の過小推定が原因であり，第一種の過誤である可能性がある。

次にMMとSAMMのAICを比較すると，BMとMMほどの開きは無いが，SAMMはMMの精度を

上回っている。実際に $s(lon, lat)$ は1%水準で有意となり，空間的従属性を考慮することの重要性が確認された。また後述の通りいくつかの説明変数からは顕著な非線形効果が検出された。従って，以降では特にSAMMの推定結果に焦点をあてて議論を進める。

水害リスク以外の説明変数に着目すると，Area, Floor, Major dev., Semi Ind., Open view, Green view, Ocean view, 及びTimeが1%水準で有意となり特に強い経済価値を有する変数であるとの示唆を得た。大手ディベロッパーが設計することが正の経済価値つというMajor dev.の推定結果や，想定した全ての眺望変数が有意な経済価値を有するという各眺望変数の推定結果は興味深い。

眺望変数の推定結果 (図4) を具体的にみると，一定以上の顕著なOpen view, 及び顕著なOcean viewのみが統計的に有意な正の効果を持つとの示唆を得た。この結果は直感に整合する。一方でMMではOpen viewの符号が負となっており，必ず



表 3：パラメータ推定結果

	BM		MM		SMAR	
	Coef.	t-value	Coef.	t-value	Coef.	t-value
Intercept	3.853	72.99 ***	4.106	22.44 ***	8.250	309.33 ***
Area	0.980	245.74 ***	1.129	422.48 ***		
Floor	0.097	57.23 ***	0.068	28.39 ***		
1F	0.071	19.18 ***	0.050	28.56 ***	0.095	2.02 **
SRC	-0.013	-5.60 ***	-0.007	-0.46	-0.018	-1.21
WRC	-0.056	-7.22 ***	0.010	0.24	0.002	0.05
Num. dev.	0.026	15.39 ***	0.017	1.36	0.010	0.87
Major dev.	0.064	31.36 ***	0.055	4.29 ***	0.052	4.39 ***
Flood	0.477	6.67 ***	0.441	1.20	0.366	1.09
Flood_1F	5.682	2.72 ***	2.287	2.19 **	3.409	3.40 ***
Open view	0.011	3.45 ***	-0.013	-2.94 ***		
Green view	-0.019	-6.83 ***	0.031	8.53 ***		
Ocean view	0.007	14.80 ***	0.007	17.34 ***		
Green	0.016	4.57 ***	-0.060	-4.43 ***		
Ocean dist.	-0.011	-15.27 ***	-0.013	-2.59 ***	-0.009	-1.79 *
Park dist.	-0.050	-48.30 ***	-0.053	-8.20 ***	0.003	0.21
Station dist.	0.011	11.05 ***	0.004	0.54	-0.004	-0.56
C1 res.	-0.008	-2.47 **	-0.037	-1.82 *	-0.025	-1.35
C1 low	0.021	5.53 ***	0.001	0.06	-0.021	-1.06
C1 high	0.053	13.84 ***	0.014	0.62	-0.003	-0.15
C1 exclusive	0.038	9.13 ***	0.016	0.59	0.005	0.23
C2 res.	0.016	2.50 **	-0.009	-0.26	0.001	0.04
C2 high	0.020	3.44 ***	-0.016	-0.48	-0.007	-0.24
C2 exclusive	0.012	2.73 ***	0.009	0.32	0.002	0.07
Industry	-0.020	-3.31 ***	0.001	0.01	0.028	0.70
Semi Ind.	-0.087	-25.37 ***	-0.080	-3.52 ***	-0.077	-3.64 ***
Commerce	0.011	3.27 ***	-0.008	-0.38	0.006	0.29
Neigh. Com.	-0.004	-1.33 ***	-0.010	-0.49	0.007	0.38
	edf	F	edf	F	edf	F
f(Area)					8.860	21792.7 ***
f(Floor)					7.600	159.7 ***
f(Open view)					7.896	8.5 ***
f(Green view)					8.445	24.6 ***
f(Ocean view)					1.490	13.8 ***
f(Green)					3.529	6.9 **
f(Time)	8.966	2415 ***	8.003	86.1 ***	5.549	145.1 ***
s(lon,lat)					7.833	11.6 ***
戸別分散: $\sigma_e^2$		0.0154		0.0032		0.0028
棟別分散: $\sigma_u^2$				0.0158		0.0132
AIC		-36566		-76341		-79080

有意水準: \*\*\*:1%, \*\*:5%, \*:10%

しも直感と整合しない。この際は説明変数に線形の効果のみを仮定することが、誤ったヘドニック分析の結果を招きうることを示すものであり重要である。SMARのGreen viewの推定結果(図4)からは、過小または過剰なGreen viewは負の経済価値を有するという顕著な非線形効果が検出された、

以上の結果は、Open viewとOcean viewを向上させつつGreen viewについては中程度に抑えることが、都市景観の魅力を効果的に向上させる上で重要であることを示唆している。

次に自然環境に関連する説明変数(眺望以外)の推定結果(SAMM)をみると、GreenとOcean

dist.からと統計的に有意な効果が検出された。これらの結果は緑地が豊かで海から近接した地域は高い経済価値を有することを示すものであり直感に整合する。

以上のように眺望や自然環境といった住環境を説明する要因は、沿岸域の正の魅力として適切に反映されているとの示唆を得た。また海に関する変数に限定すると、沿岸部の魅力が Ocean view と Ocean dist.によって押し上げられているとの示唆を得た。

次に、負の経済価値を持つことが期待される Flood からは統計的に有意な効果が検出されなかった。さらにと Flood\_1F は 1%水準で正に有意という直感に整合しない結果が得られた。この結果は、海の正の側面 (Ocean dist.や Ocean view) にばかり目が向けられており、水害リスクが軽視されている可能性を示唆するものである。

水害リスクを軽視されていること具体的な影

響をみるために、海が住戸に与えている付加価値を Ocean dist., Ocean view, Flood, Flood\_d の各効果を足し合わせてプロットした (図 4)。ここでは 2 階の住戸に対する付加価値をプロットした。この図より、水害リスクの高い地域の経済価値が海によって上昇していることが確認できる。即ち、現状において水害リスクの高い住居は魅力的な住居と認知されている。従って、例えば居住地選択に際しても、リスクの高い地域に居住者が集中することとなる。横浜市が行政地図情報提供システム (<http://www.city.yokohama.lg.jp/>) 等を通してリスク情報を積極的に公開していることを勘案すると、ここでの分析結果は、現状実施されているリスク情報の公開が適応の観点から必ずしも十分な効力を持つとは限らず、土地利用規制のような強制力のある政策を追加で実施することが必要であることを示すものといえよう。

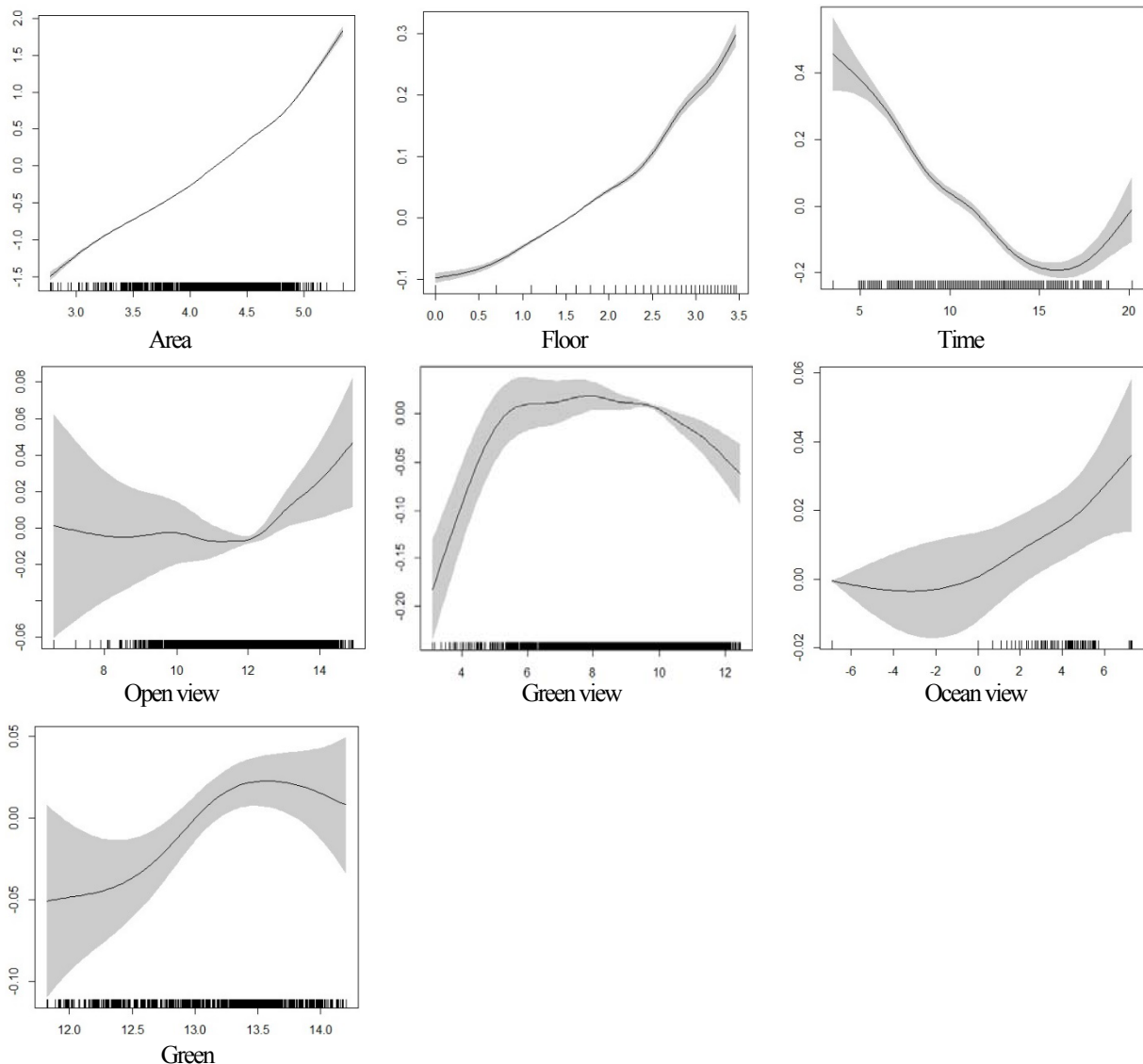


図 4：推定された非線形効果 (横軸：説明変数の値；縦軸： $f(x)$ の値，灰色の領域は 95%信頼区間を表す)

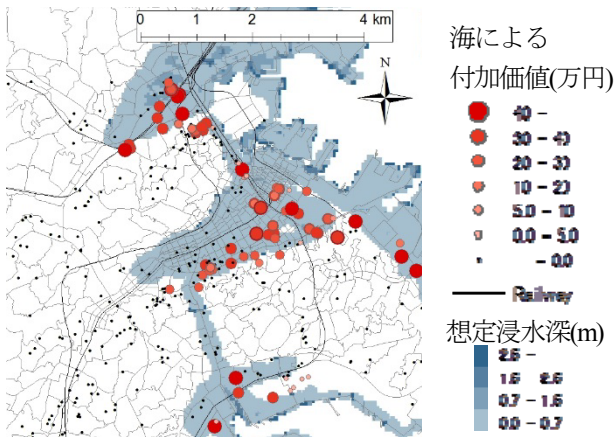


図 5 : 海による付加価値 (2階の住戸を想定)

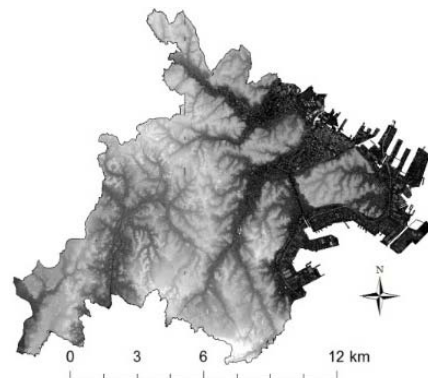


図 A1 : Digital surface model (DSM)

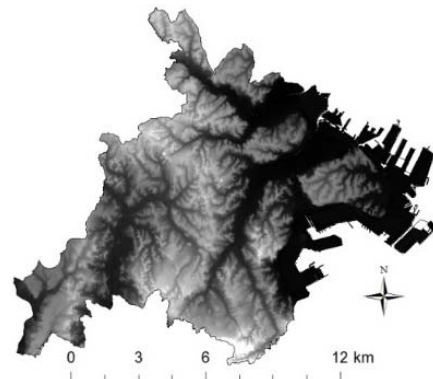


図 A2 : Digital surface model (DSM)

#### 4. 考察

本研究では、横浜市とした戸別マンションのヘドニック分析を実施することで、対象地域においては海の正の側面 (Ocean dist.や Ocean view) にばかり目が向けられており、水害リスクが軽視されている、という可能性を示唆した。また、結果として、沿岸域の水害リスクの高い地域の経済価値が海によって押し上げられているとの示唆を得た。この結果は、沿岸域における適応策を議論する上で重要といえよう。

加えて空間加法階層モデル (SAMM) をヘドニック分析に適用することで、空間的従属性、説明変数からの効果の非線形性、及びマンションの階層性を考慮することが、水害リスク等の効果を適切に評価する上で重要との示唆を得た。

謝辞：本研究は環境省環境研究総合推進費戦略的研究開発プロジェクト S-10 の成果の一部である。

#### Appendix.1 眺望変数の評価

眺望変数の評価には Digital terrain model (DTM : 図A2) と Digital surface model (DSM : 図A1) を用いた。ここでDTMは地表面の高さを記述するメッシュデータ、DSMとは地表面及び地物 (建物等) の高さを記述するメッシュデータである。それらは Light Detection and Ranging (LiDAR) による衛星観測で取得されており、空間解像度は0.5m×0.5mである。

Open view (各棟の各階から視認可能なDSMセルの数)、Green view (視認される緑地セルの数)、Ocean view (視認される海域セルの数) は DSMを用いた可視域解析 (ArcGIS 3D analystを使用) により評価した。その具体的な手順は次に示すとおりである。

- 1: 戸別マンションに対応する建物ポリゴン (国土地理院提供) を、マンションのwebページ等を参照しながら特定する。
- 2: 各部屋の階高を部屋番号を元に特定 (推定) する。
- 3 各住戸の視点場の3次元座標を手順1で特定した建物ポリゴンと手順2で特定した各住戸の階高の情報を元に付与する (後述) 。
- 4: DSMで定義された3次元都市空間上でArcGIS 3D analystによる可視域解析を実施することで、各住戸から各DSMセルが視認可能かを判定する。またその結果を集計することで各住戸からの Open view を評価する。
- 5-a: LiDARデータと同時取得された航空写真 (空間解像度 : 0.5m×0.5m) を最尤推定することで、樹木のメッシュを推定する。また樹木セルにあける樹木の高さをDSM-DTMで推定する。ノイズを除去するために、ここでは樹高0.5m未満

のセルは樹木セルから除外した。

5-b: 海上にあるセル（海域セル）を海域のGISデータ（横浜市提供）を用いて特定する。

6: 手順3で判定した各DSMセルの可視性、及び手順5-a, 5-bの結果をマッチングすることでGreen viewとOcean viewを評価する。

手順3では各戸の窓の位置を考慮して視点場の座標を設定することが望ましい。しかしながら：窓の位置に関するデータは入手することができなかつたため、次の手順で視点場の座標を与えた。まず高さは、Yasumoto et al. (2012)に倣い[(住戸の階高-1)×各階の高さ(3m)+人の視点の高さ(1.6m)]で与えた。視点場の緯度・経度は、各マンションの主開口方位（有限会社MRC提供のマンションデータ内の一変数）にあたる壁面に等間隔で2点視点場を設置することで与えた。各住戸から各セルへの可視性は、以上の仮定のもとで各棟の各階高に配置された2つの視点場からの可視性で評価する。即ち、各住戸からの眺望は棟別階高別に評価する。なお、計算付加の軽減のために、Yu et al. (2007)<sup>7)</sup>とYasumoto et al. (2012)<sup>20)</sup>に倣い、視認される最大距離は500mに設定した。

#### 参考文献

- 1) Rosen, S. (1974). Hedonic prices and implicit markets: Product differentiation in pure competition. *Journal of Political Economy*, 82 (1), 34-55.
- 2) 中村良平 (1992) ヘドニック・アプローチにおける実証分析の諸問題。「土木学会論文集」, 449, 57-66.
- 3) Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R. and Theiken, A. (2010) Review article “Assessment of economic flood damage.” *Natural Hazards and Earth System Science*, 10, 1697-1724.
- 4) Waltert, F. and Schlapfer, F. (2010) Landscape amenities and local development: A review of migration, regional economic and hedonic pricing studies. *Ecological Economics*, 70 (2), 141-152.
- 5) Brender, L.M. and Koetse, M.J. (2011) The value of urban open space: Meta-analysis of contingent valuation and hedonic pricing results. *Journal of Environmental Management*, 92 (10), 2763-2773.
- 6) Paterson, R.W., and Boyle, K.J. (2002). Out of sight, out of mind? Using GIS to incorporate visibility in hedonic property value models. *Land Economics*, 78 (3), 417-425.
- 7) Yu, S.-M., Han, S.-S., and Chai, C.-H. (2007) Modeling the value of view in high-rise apartments: A 3D GIS approach. *Environment and Planning B*, 34 (1), 139-15.
- 8) Jim, C.Y., and Chen, W.Y. (2009) Value of scenic views: Hedonic assessment of private housing in Hong Kong. *Landscape and Urban Planning*, 91 (4), 226-234.
- 9) Michael, J.A. (2007) Episodic flooding and the cost of sea-level rise. *Ecological Economics*, 63 (1), 149-159.
- 10) Omer, H. and Alon, N. (1994) The continuity principle: A unified approach to disaster and Trauma. *American Journal of Community Psychology*, 22 (2), 273-287.
- 11) LeSage, J.P., and Pace, R.K. (2009) *Introduction to Spatial Econometrics*, Chapman and Hall/CRC Press, Boca Raton.
- 12) Gelfand, A.E., Banerjee, S., Simans, C.F., Tu, Y., and Eng Ong, S. (2007) Multilevel modeling using spatial processes: Application to the Singapore housing market. *Computational Statistics & Data Analysis*, 51 (7), 3567-3579.
- 13) Yamagata, Y., Murakami, D., and Seya, H., and Tsutsumi, M. (2013) A multilevel model based hedonic analysis of 3D visibility: An empirical case study of Yokohama Baycity, *Proceedings of the 13th edition of the International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management (CUPUM2013)*, July 2-5, Utrecht, Netherlands.
- 14) Brunauer, W., Lang, S., and Umlauf, N. (2013) Modelling house prices using multilevel structured additive regression. *Statistical Modelling*, 13 (2), 95-123.
- 15) Hox, J. (1998) Multilevel modeling: When and why. In: Balderjahn, I., Mathar, R., and Schader, M. (eds) *Classification, Data Analysis, and Data Highways*, pp. 147-154, Springer, Berlin.
- 16) Wood, S.N. (2003) Thin plate regression splines. *Journal of the Royal Statistical Society B*, 65 (1), 95-114.
- 17) Wood, S.N., Scheipl, F., and Faraway, J.J. (2013) Straightforward intermediate rank tensor product smoothing in mixed models. *Statistics and Computing*, 23 (3), 341-360.
- 18) Shimizu, C., Nishimura, K.G., and Watanabe, T. (2011) House prices at different stages in buying/selling process. *Research Center for Price Dynamics Working Paper Series*, 69.
- 19) 越村俊一・行谷佑一・柳澤英明 (2009) 津波被害関数の構築。「土木学会論文集 B」, 65 (4), 320-331.
- 20) Yasumoto, S., Jones, A., Yano, K., and Nakaya, T. (2012) Virtual city models for assessing environmental equity of access to sunlight: A case study of Kyoto, Japan. *International Journal of Geographical Information Science*, 26 (1), 1-13.