第24回 研究開発助成成果報告会　2024/6/5

気候変動への適応に向けた砂浜価値の定量化に関する研究

有働 恵子・東北大学大学院工学研究科

研究の背景と目的 (2022年度)

- 将来の気候変動に伴う，海面上昇を主たる要因とする世界的な海岸侵食の可能性（Vousdoukas et al，2020）
- 我が国においてもBruun則による砂浜消失の将来予測が行われており，今世紀末最大で９割侵食の可能性（Udo・Takeda，2017）
- 海岸侵食に対する適応に向けて経済評価を行う場合，様々な観点（防災・環境・利用）で砂浜価値を見積もる必要があるが，十分な知見が得られていない（全国で適用可能な評価法は確立していない）
- 将来の人口は2015～2045年までの30年間で16%以上の減少．沿岸部での人口減少率も大きい（国立社会保障・人口問題研究所，2018）
- 築後50年以上経過する海岸堤防等の施設が2040年には77%に達する見込み（国土交通省，2021）

→ 持続可能な海岸管理を見据えた，砂浜の防災・環境・利用価値の評価手法の提案は可能か？**ヘドニック法を用いた評価の試み**

ヘドニック法の概要

高い利用価値の見積が見込めそうなホテルルームチャージ$\boldsymbol{P_i}$に注目！
これを目的変数としてヘドニック法を適用

（当初この目的変数に生態系の変数をいれようとしたが，モデル構築ができず断念）

$$P_i = f(H_i, L_i, B_i, W_i)$$

$$ln\, P_i = \alpha + \sum_{j=1}^{k} \beta_j X_{ij} + \varepsilon_i$$

α: 切片項, X_{ij}: ホテルiにおける各説明変数, β_j: X_{ij}に対する回帰係数, ε_i: 残差項

① 残差項の二乗和を最小化することで，各回帰係数を導出（OLS）
② OLSの各回帰係数を空間的に分布させる（GWR）

ヘドニック法の概要

① 残差項の二乗和を最小化することで，各回帰係数を導出（OLS）

$$P_i = f(H_i, L_i, B_i, W_i)$$

$$ln\, P_i = \alpha + \sum_{j=1}^{k} \beta_j X_{ij} + \varepsilon_i$$

α: 切片項, X_{ij}: ホテルiにおける各説明変数, β_j: X_{ij}に対する回帰係数, ε_i: 残差項

② OLSの各回帰係数を空間的に分布させる（GWR）

$$ln\, P_i = \alpha_i + \sum_{j=1}^{k} \beta_{ij}\, X_{ij} + \varepsilon_i$$

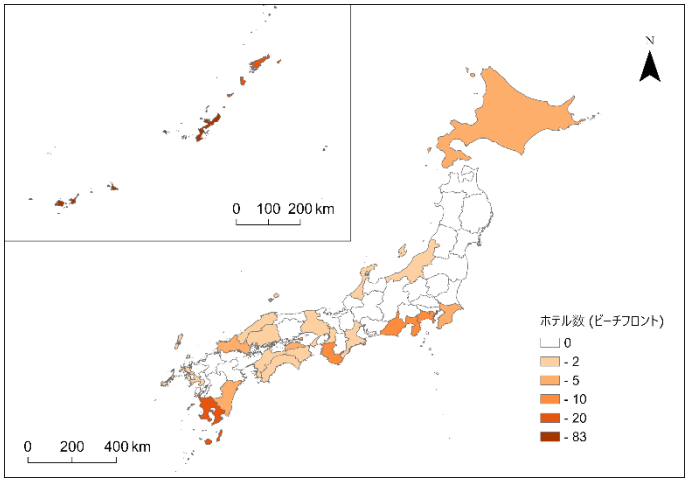
β_{ij}の推定値$\widehat{\beta_{ij}}$は以下の重み付き最小二乗法の解として得られる

$$\min_{\beta_{ij}} \sum_l w_{il} \left(ln\, P_l - \alpha_l - \sum_{j=1}^{k} \beta_{ij} X_{lj} \right)^2$$

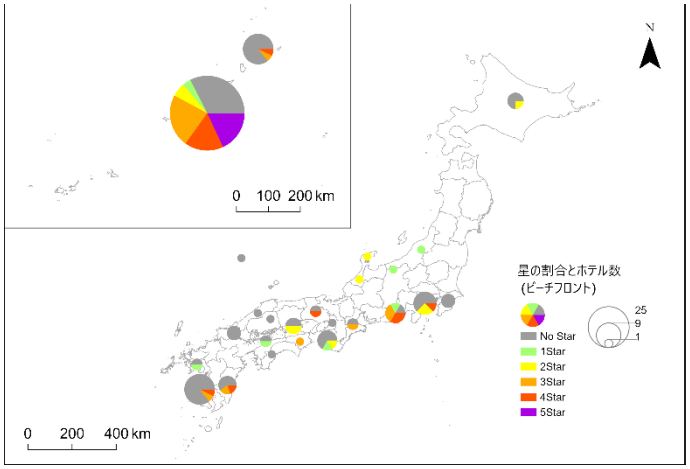
全ての地点についてこれを計算し回帰係数の地理的分布を得る

説明変数・目的変数の特性

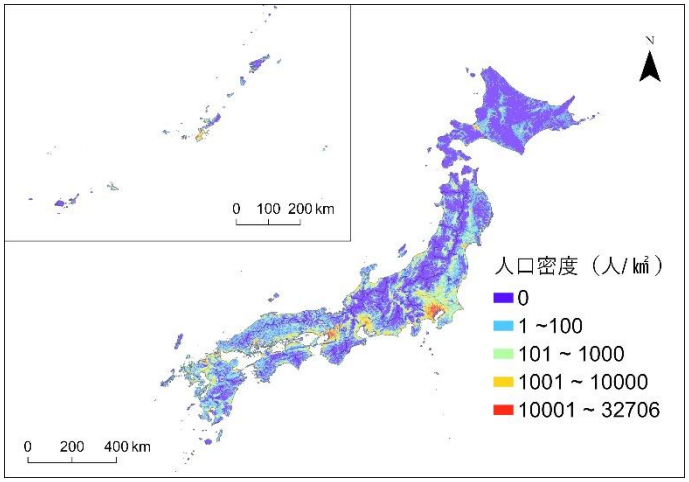
ビーチフロントホテル数



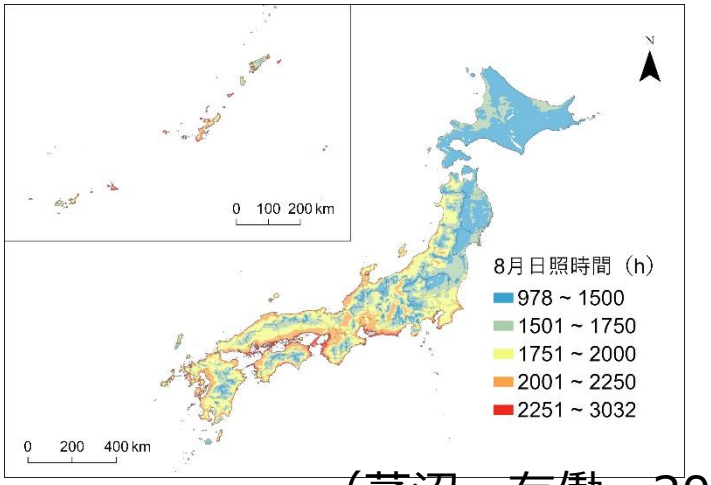
ビーチフロントホテルの格付け（★）割合



人口密度



8月日照時間



（茅沼・有働，2023）

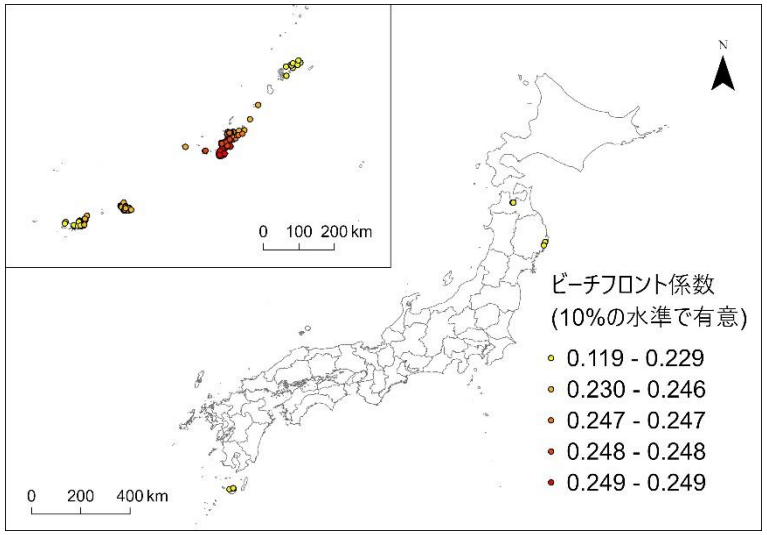
結果：構築モデル

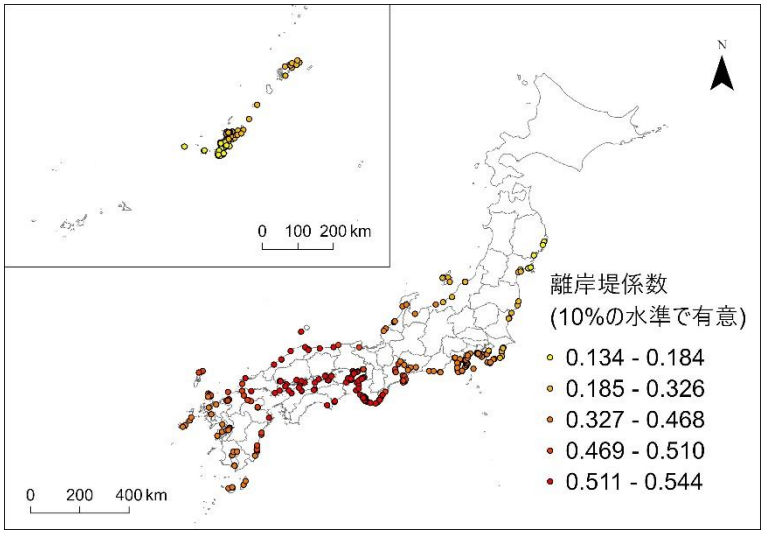
	通常最小二乗法 (OLS)			地理的加重回帰(GWR)					
	係数		標準誤差	係数					
				最小値	25%	平均値	中央値	75%	最大値
(切片)	5.655	***	0.198	4.505	4.529	5.182	5.431	5.626	5.687
ホテル変数									
1つ星	-0.401	***	0.082	-0.439	-0.420	-0.366	-0.375	-0.314	-0.289
2つ星	-0.178	***	0.059	-0.248	-0.216	-0.169	-0.199	-0.141	0.142
4つ星	0.145		0.079	0.000	0.005	0.081	0.073	0.143	0.341
5つ星	0.508	***	0.125	0.192	0.336	0.400	0.359	0.523	0.832
ヴィラ	0.659	***	0.089	0.061	0.494	0.741	0.872	0.989	1.050
スイートルーム	0.843	***	0.165	0.721	0.775	0.989	0.983	1.115	1.462
スーペリアルーム	0.157		0.126	-0.003	0.043	0.143	0.129	0.195	0.363
デラックスルーム	0.295	**	0.141	0.151	0.182	0.259	0.246	0.274	0.729
朝食込み	0.315	***	0.055	-0.001	0.238	0.297	0.366	0.388	0.417
夕食込み	0.602	***	0.147	-0.102	0.135	0.580	0.800	1.014	1.100
返金不可	0.198	***	0.054	0.102	0.166	0.191	0.192	0.215	0.265
スイミングプール	0.413	***	0.068	0.126	0.190	0.344	0.263	0.514	0.631
スパ	0.292	***	0.040	0.123	0.274	0.300	0.301	0.339	0.380
露天風呂	-0.117		0.112	-0.331	-0.289	-0.174	-0.135	-0.090	0.020
温泉	0.242	**	0.102	0.152	0.181	0.235	0.237	0.288	0.350
屋外スポーツ	-0.077		0.045	-0.174	-0.170	-0.101	-0.074	-0.048	-0.027
駐車場	0.089		0.049	-0.064	0.048	0.089	0.112	0.137	0.186
子供向け施設	-0.086		0.066	-0.339	-0.127	-0.076	-0.057	-0.014	0.019
ルームサービス	0.046		0.083	-0.077	-0.010	0.096	0.118	0.196	0.257
立地変数									
人口密度	-0.016	**	0.007	-0.062	-0.026	-0.017	-0.013	-0.005	-0.004
空港までの距離	0.001		0.001	-0.004	-0.002	0.000	-0.001	0.002	0.005
森林	0.102	**	0.049	-0.132	0.114	0.131	0.123	0.180	0.230
市街地	0.000		0.057	-0.099	-0.045	-0.014	-0.003	0.025	0.034
農地	0.022		0.068	-0.349	-0.032	0.009	0.022	0.059	0.102
ゴルフ場	0.959	**	0.427	0.570	1.027	1.042	1.076	1.130	1.235
砂浜変数									
ビーチフロント	0.139	**	0.057	-0.042	-0.006	0.121	0.101	0.246	0.249
離岸堤	0.303	***	0.048	0.044	0.179	0.318	0.302	0.483	0.544
突堤	-0.064		0.048	-0.165	-0.141	-0.073	-0.051	-0.014	0.031
護岸	-0.078		0.042	-0.154	-0.093	-0.072	-0.077	-0.048	-0.002
堤防	-0.036		0.054	-0.305	-0.167	-0.106	-0.084	-0.060	-0.006
気象変数									
日照時間	0.003	***	0.001	0.003	0.004	0.006	0.005	0.008	0.008
N	1103			1103					
R^2	0.462			0.418	0.492	0.529	0.507	0.593	0.595
Adj. R^2	0.446			0.482					
AICc	1975.871			1954.648					

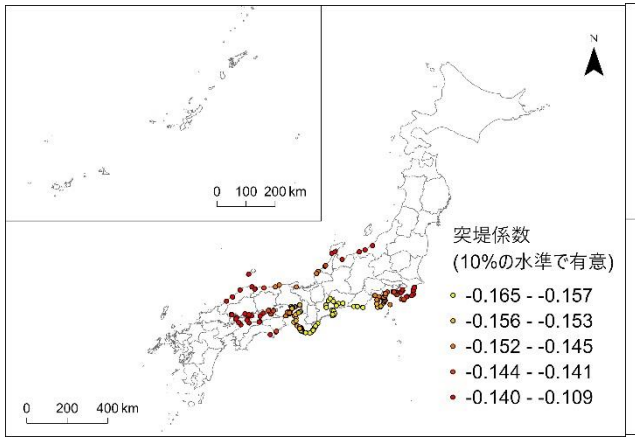
*, **, ***: それぞれ10%, 5%, 1%の水準で統計的に有意を表す.

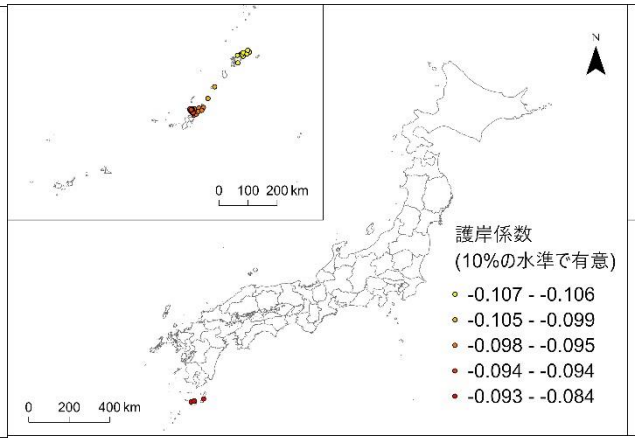
（茅沼・有働，2023）

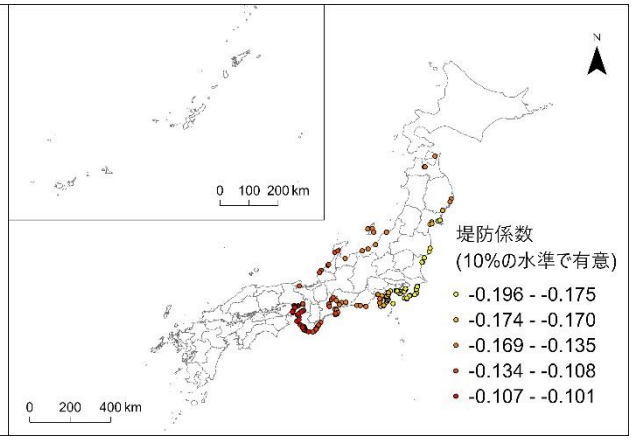
結果：モデル係数の特性











（茅沼・有働，2023）

結果：砂浜による宿泊価格引き上げ効果

回帰分析によって求められたビーチフロントに立地しないホテルの推定宿泊価格$\hat{P}$を　$\ln \hat{P} = a$　とする.

ビーチフロントに立地しかつビーチフロント以外の条件が全く同一のホテルの推定宿泊価格$\hat{P}'$は　ビーチフロント変数の回帰係数βを用いて　$\ln \hat{P}' = a + \beta$　と表せる.

$$\Delta P = \hat{P}' - \hat{P} = e^{a+\beta} - e^{a} = \hat{P}\left(e^{\beta} - 1\right)$$

例えば．．．
沖縄のビーチフロントに立地しない3つ星ホテル49件の平均宿泊価格
1040 USD/週（2名1室）→ 1名あたり520 USD/週
ビーチフロント係数0.12～0.25のとき

$$\Delta P = \hat{P}\left(e^{\beta} - 1\right) = 520(e^{0.12} - 1) = 520 * 0.13 = 68$$
$$\Delta P = \hat{P}\left(e^{\beta} - 1\right) = 520(e^{0.25} - 1) = 520 * 0.28 = 147$$

(USD/週/人)

まとめ (2022年度)

宿泊価格にヘドニック法を適用して砂浜価値を評価（OLS，GWR）

- 砂浜への近接性を表す説明変数の回帰係数が統計的に有意な範囲は，沖縄県とその周辺に限られ，これらの地域では砂浜への近接性が平均宿泊価格を13～28%引き上げる可能性
- タイ国内の砂浜を解析対象としたSomphongら(2022)の例では，ビーチフロントの立地が有意に正の影響を与える地域はタイの沿岸に広く分布したのに対し，日本国内の砂浜を解析対象とした本研究では，沖縄県とその周辺地域に限られた
- 突堤，護岸，堤防については負の影響を与える地域が存在したものの，離岸堤については日本の広い地域で正の影響

研究の目的 (2023年度)

- 2022年度の成果を反映して，ホテルの宿泊価格を用いた砂浜の価値評価手法の開発を行う.
- モバイル空間統計を用いた全国の砂浜における人口動態解析により全国の砂浜利用の実態把握を行う.

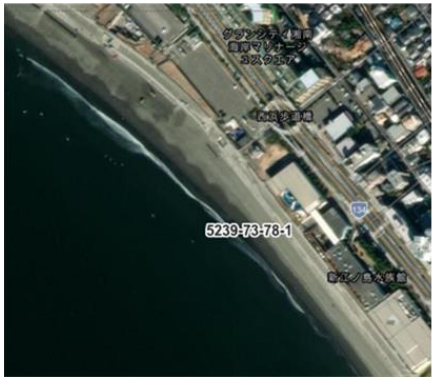
モバイル空間統計による
海岸利用状況の把握

a)沖縄県エメラルドビーチ

b-1)和歌山県白良浜１

b-2)和歌山県白良浜２

c)神奈川県片瀬西浜



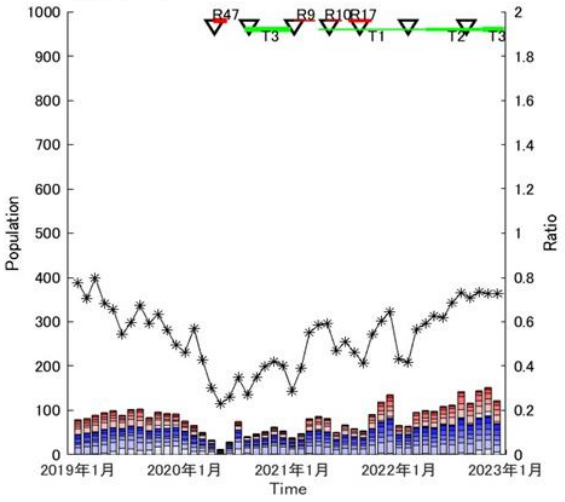
d)東京都葛西海浜公園

e)青森県白浜

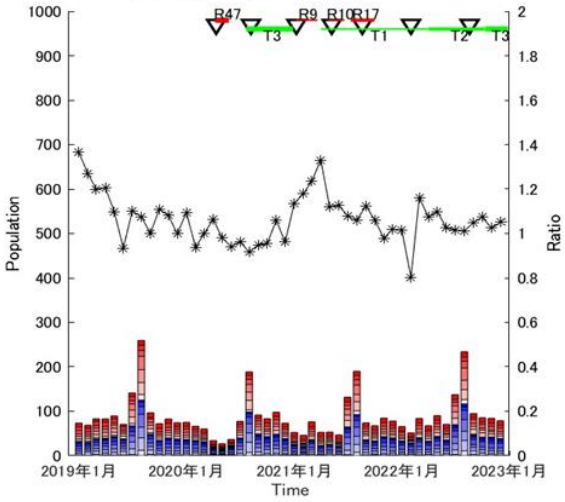
（有働ら，2023）

モバイル空間統計による海岸利用状況の把握：性別年代別出現数

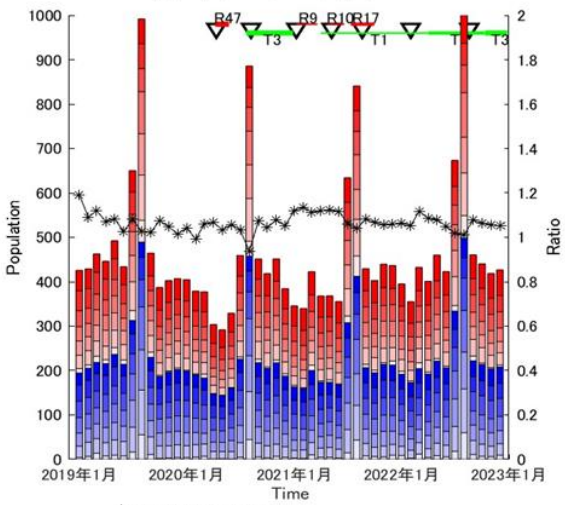
a)沖縄県エメラルドビーチ



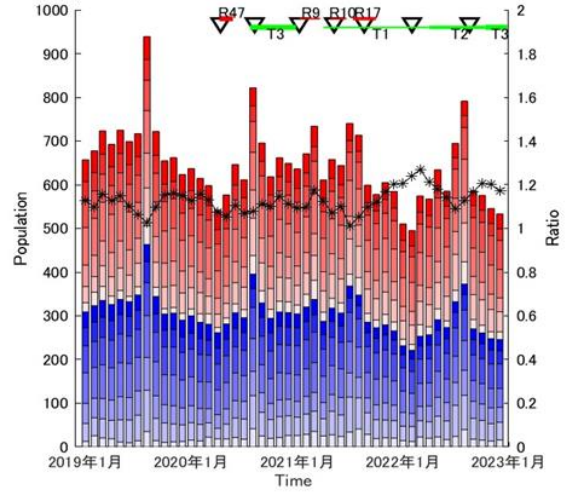
b-1)和歌山県白良浜１



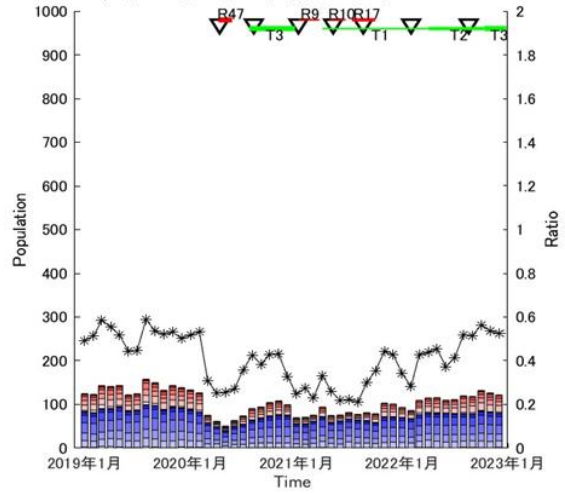
b-2)和歌山県白良浜２



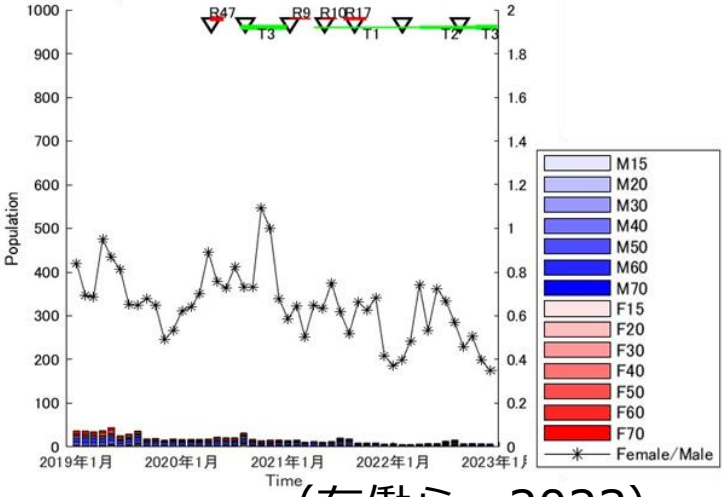
c)神奈川県片瀬西浜



d)東京都葛西海浜公園



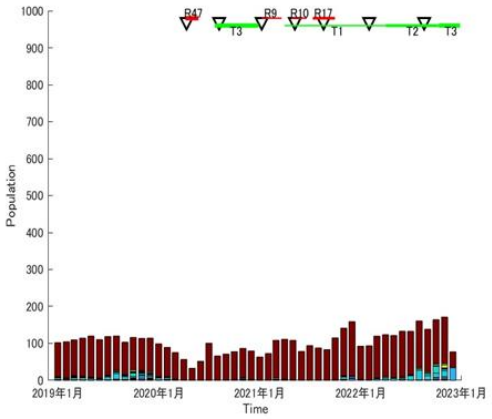
e)青森県白浜



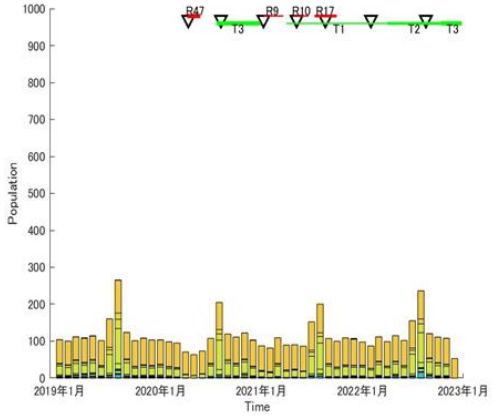
（有働ら，2023）

モバイル空間統計による海岸利用状況の把握：居住地別出現数

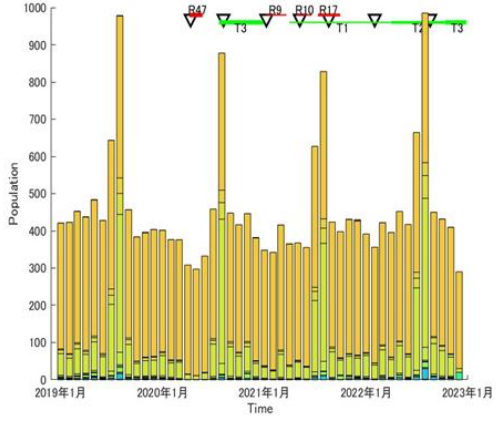
a)沖縄県エメラルドビーチ



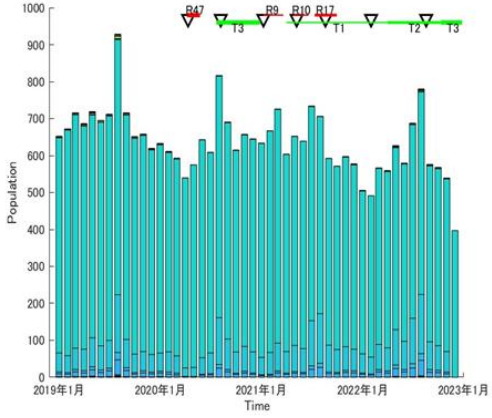
b-1)和歌山県白良浜１



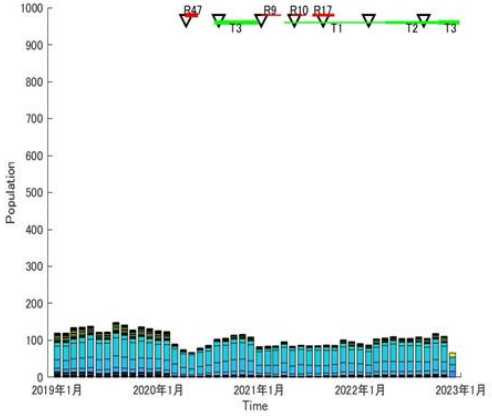
b-2)和歌山県白良浜２



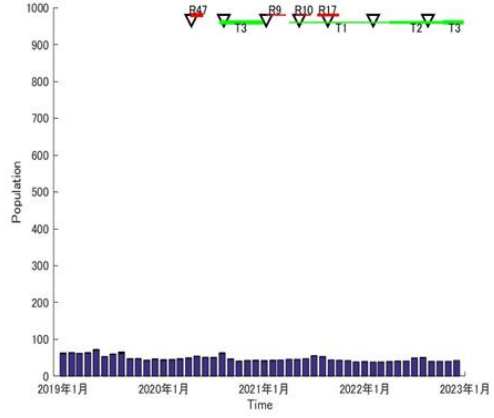
c)神奈川県片瀬西浜

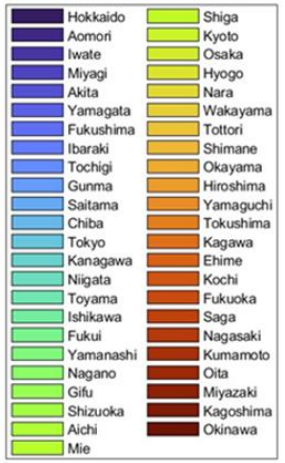


d)東京都葛西海浜公園



e)青森県白浜





（有働ら，2023）

砂浜の経済評価の枠組

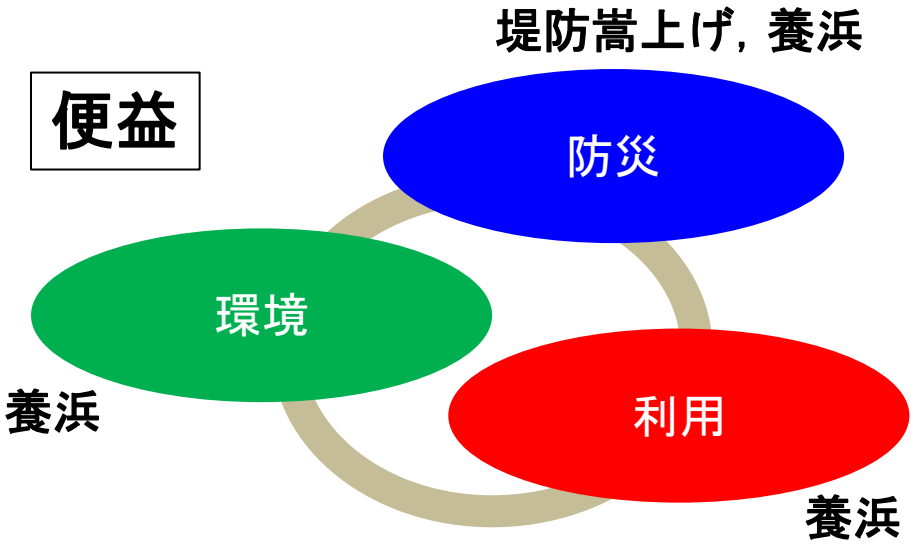
砂浜消失の将来予測 (Udo and Takeda, 2017)

↓

Step 1. 環境・利用便益を考慮した養浜量の算定 (Yoshida et al., 2014)

↓

Step 2. 防災便益を考慮した最適堤防嵩上げ・養浜量の算定 (紀国, 2017)



費用

砂浜の経済評価の流れ

便益推計式の作成

$B(V)=B_D(V)+B_E(V)+B_R(V)$

$B_D(V)$：防災価値

$B_E(V)$：環境価値

$B_R(V)$：利用価値

堤防嵩上げ・養浜量
コストデータの取得

堤防嵩上げ・養浜量コスト
推計式の作成 $C(V)$

最適養浜量・コストの推定
Max $[B(V) - C(V)]$

環境・利用価値を考慮した最適養浜量の推定方法

Benefit B_e & B_t

(revised fr

環境への支払意思額から算定

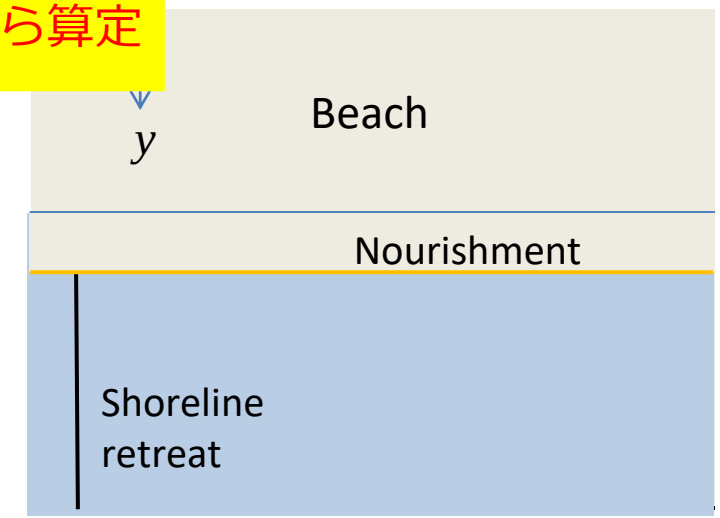
$$B_e(V) = 3.29 v_e \left(\frac{V}{h_* + h_B} P \right)^{0.157}$$

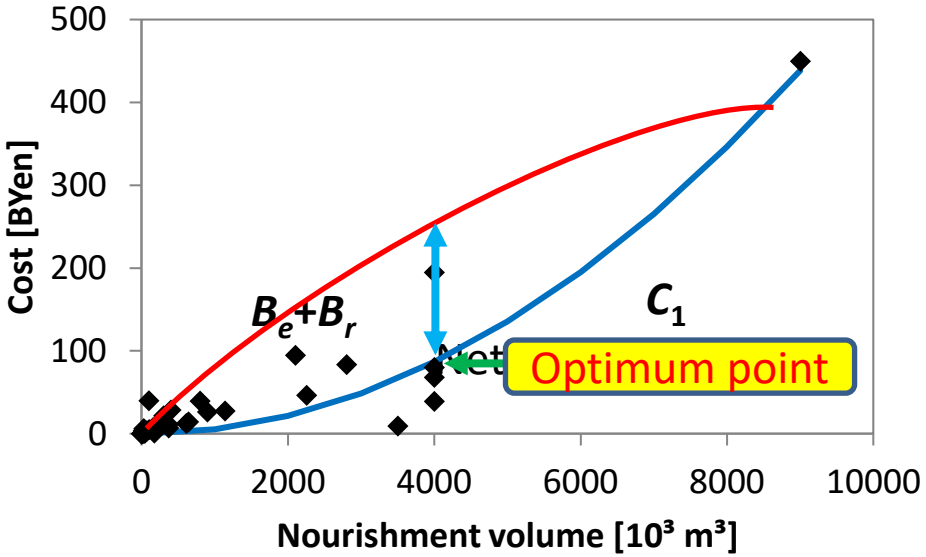
$$B_t(V) = v_t \frac{V}{h_* + h_B}$$

Cost of beac

旅行費用法などで算定

$$C_1(V) = 0.0$$

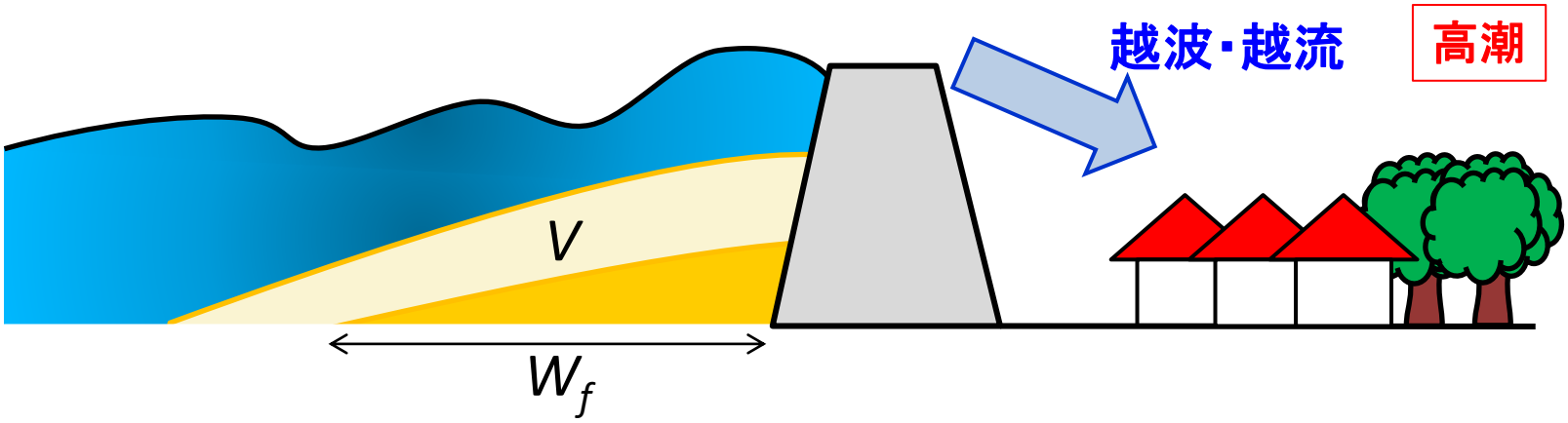




W_p: present beach width [m]
W_f: future beach width [m]
W_*: width of active beach profile [m]
h_*: closure depth [m]
h_B: berm height [m]
L: beach length [m]
v_e: value for environment [JPY/m^2]
v_t: value for tourism [JPY/m^2]
P: vegetation cover ratio
V: Beach nourishment volume [m^3]

防災価値を考慮した最適養浜量の推定方法

浸水防護便益：
事業を実施した場合に想定浸水地域で防護される資産額の総和



想定高潮の設定及びその確率評価

↓

越波・越流量と浸水域の算定

↓

D_{wo}, D_w, ならびに B_d の算定

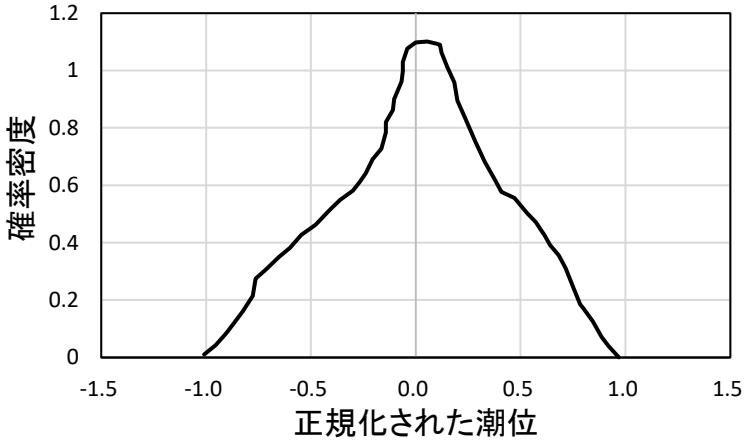
浸水防護便益

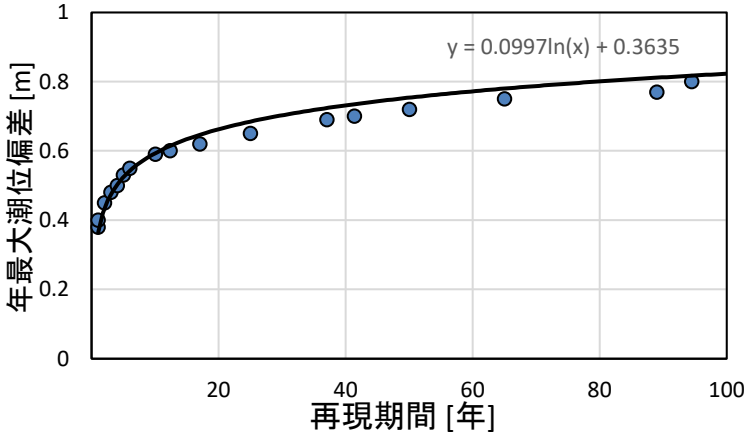
$$B_d(V) = D_{wo} - D_w$$

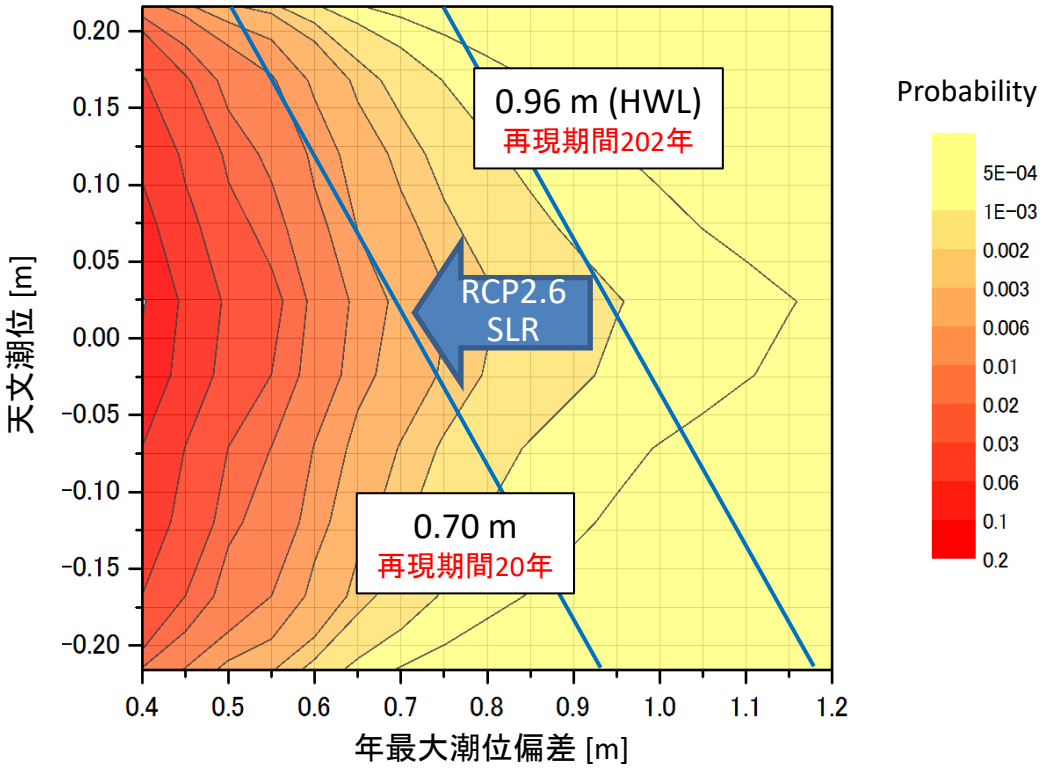
D_w: 事業を実施した場合の被害額
D_{wo}:事業を実施しない場合の被害額
(現在は事業として，養浜 のみを考慮)

（国土交通省　海岸事業の費用便益分析指針）

潮位の確率分布（例）

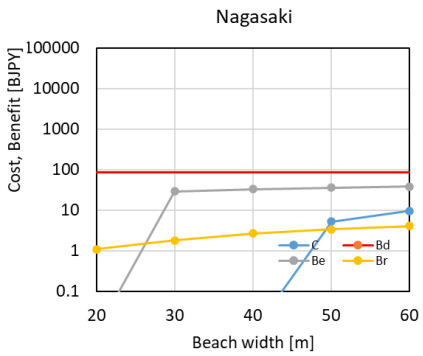


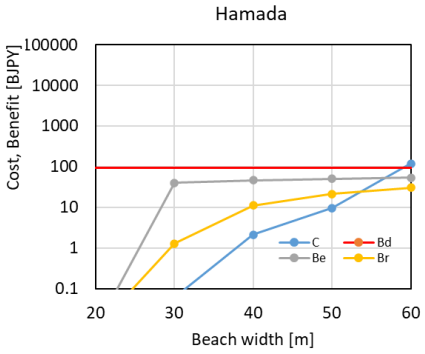


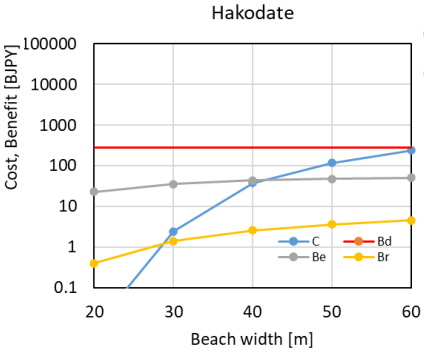


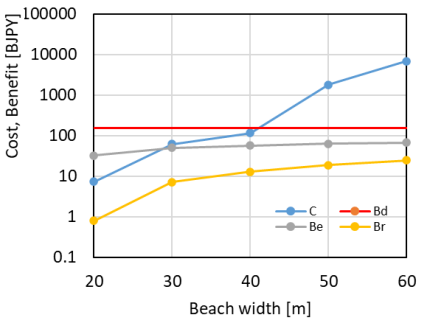
(比屋定ら, 2011)

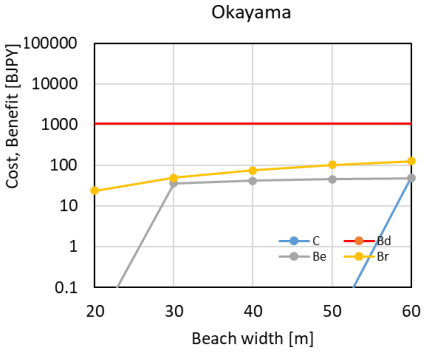
砂浜消失への適応策の費用便益分析

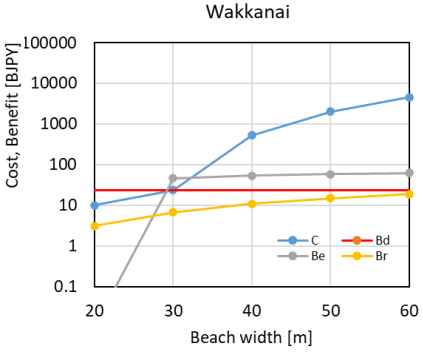


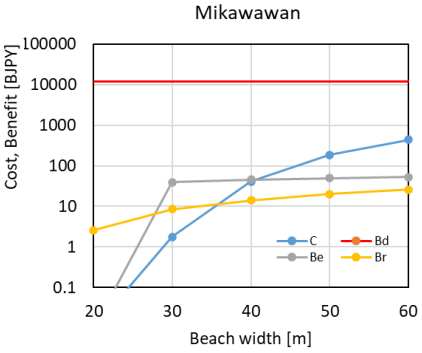


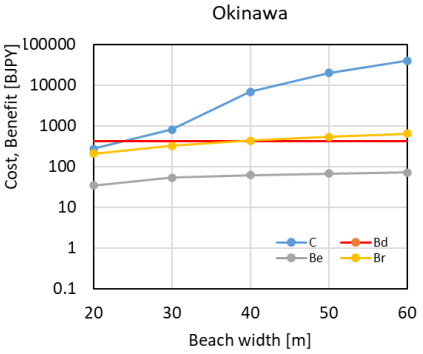


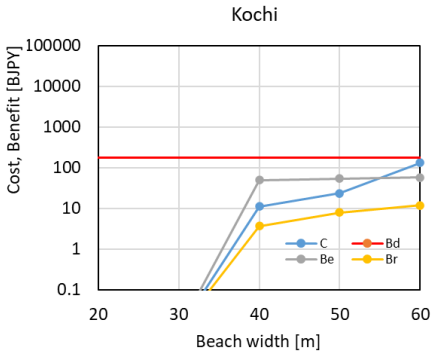








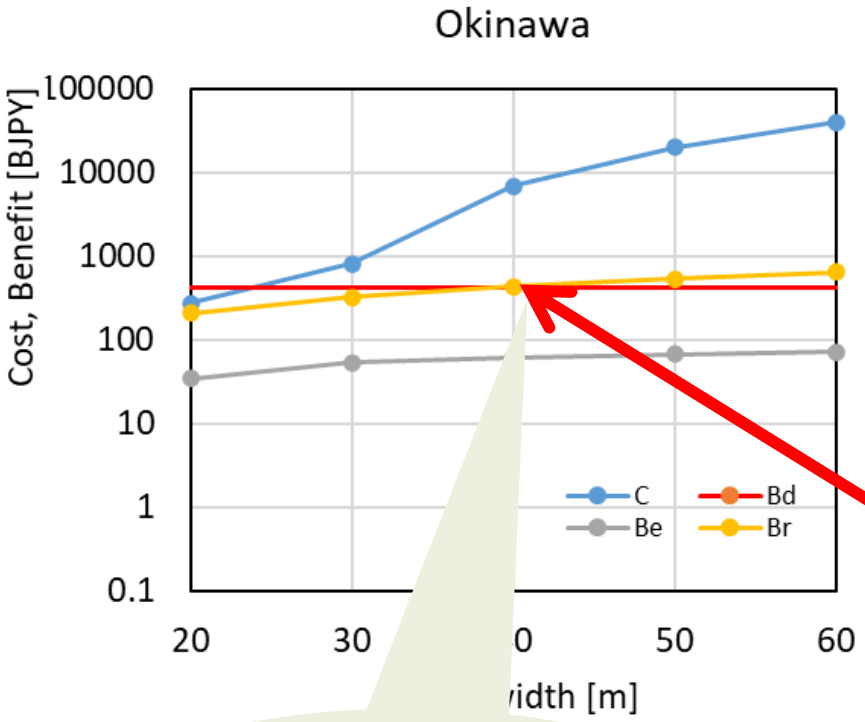




- 防災費用のインパクトが大きい
- 養浜費用変化，人口動態や土地利用変化は考慮していない

→ 考慮によりB/Cが大きく変化するかも？

砂浜消失への適応策の費用便益分析



既存のTCMの結果では
全国の砂浜海岸（数千km）で数千億円.

ヘドニック法による砂浜価値は
1040 USD/週（2名1室）
→1人1泊約11000円（150円/USDで換算）

沖縄観光客数　1000万人/年
外国人観光客数　300万人/年

今回の**6砂浜だけ**を考えても

7.4万人/年*11000円/人＝8.2億円/年

*0.13＝**1.1億円/年**　→ **27億円**（100年間）
*0.28＝**2.3億円/年**　→ **59億円**（100年間）

→観光客数も過小評価
→宿泊業以外に飲食業などへの経済効果も考えられ，既存の手法ではかなり過小評価か？
（Nakajimaら，2020）

まとめ

- 砂浜への近接性を表す説明変数の回帰係数が統計的に有意な範囲は，沖縄県とその周辺に限られ，これらの地域では砂浜への近接性が平均宿泊価格を13～28%引き上げる可能性
- タイ国内の砂浜を解析対象としたSomphongら(2022)の例では，ビーチフロントの立地が有意に正の影響を与える地域はタイの沿岸に広く分布したのに対し，日本国内の砂浜を解析対象とした本研究では，沖縄県とその周辺地域に限られた
- 宿泊価格にヘドニック法を適用して砂浜価値を評価したところ，TCMによる既存の評価額に比して価値が得られた
- 全国の対象海岸における砂浜メッシュの出現人口のトレンド，変動，居住地の特徴には地域差があり，全国から集客が見込める海岸と主に地元住民に利用される海岸に分けられる

ホテルルームチャージに注目する理由

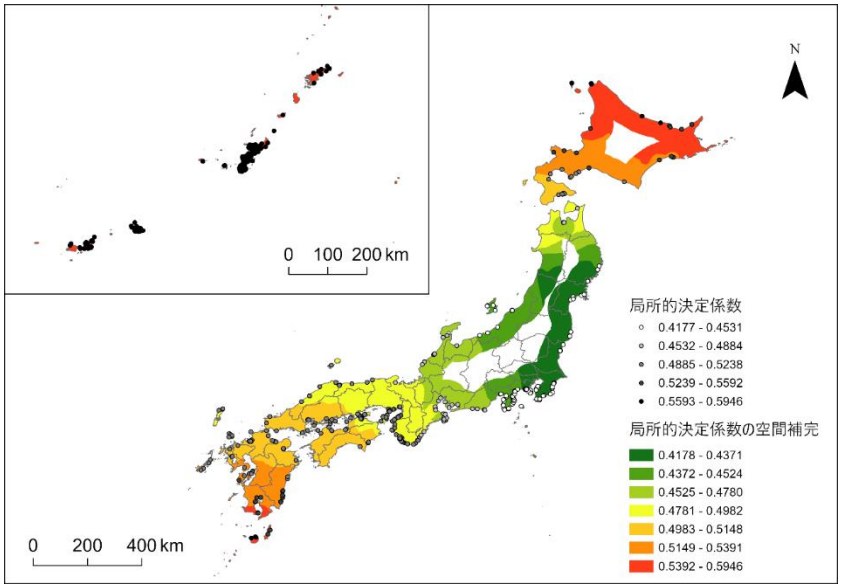
（**2002年夏ヒヤリング結果**；山崎ら，2003）

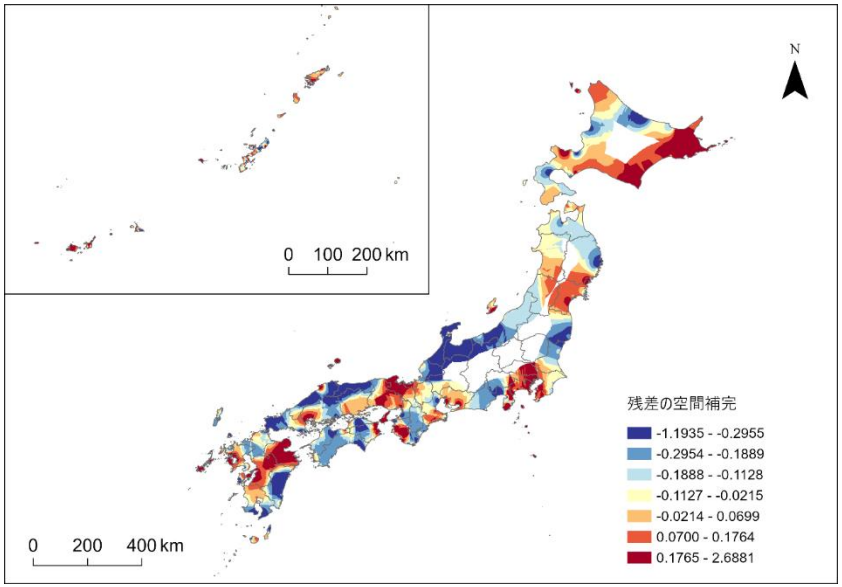
表－2　リゾートホテル事業者の海浜地の管理･運営状況

ビーチ名	万座ビーチ	オクマビーチ	ブセナビーチ	ラマダビーチ	みゆきビーチ	サンマリーナビーチ
ホテル名	万座ビーチホテル	JALﾌﾟﾗｲﾍﾞｰﾄﾘｿﾞｰﾄｵｸﾏ	ザ･ブセナテラスリゾート	ﾗﾏﾀﾞﾙﾈｯｻﾝｽﾘｿﾞｰﾄ	ホテルみゆきビーチ	サンマリーナホテル
事業主体	全日空リゾート株式会社	ｵｸﾏﾋﾞｰﾁﾗﾝ				
管理の有無（年間費用）	有（約1億円）	有（約10人件費				
管理方法	管理は従業員で対応。清掃は業者に委託。	日航開発（株				
管理内容	ゴミ処理や養浜、下水処理等の美化活動。サンゴの保全のためオニヒトデの除去を実施。	毎夕従業員1ごみ処理等の施。養浜のたドーザーをリ				
管理の理由	海岸環境が商品となっており、それを満喫するために利用者が来訪するため。	ホテルの営業ため。				
管理範囲	ホテルの所有する土地に面した海浜地。	ホテルが借りに面した海浜				

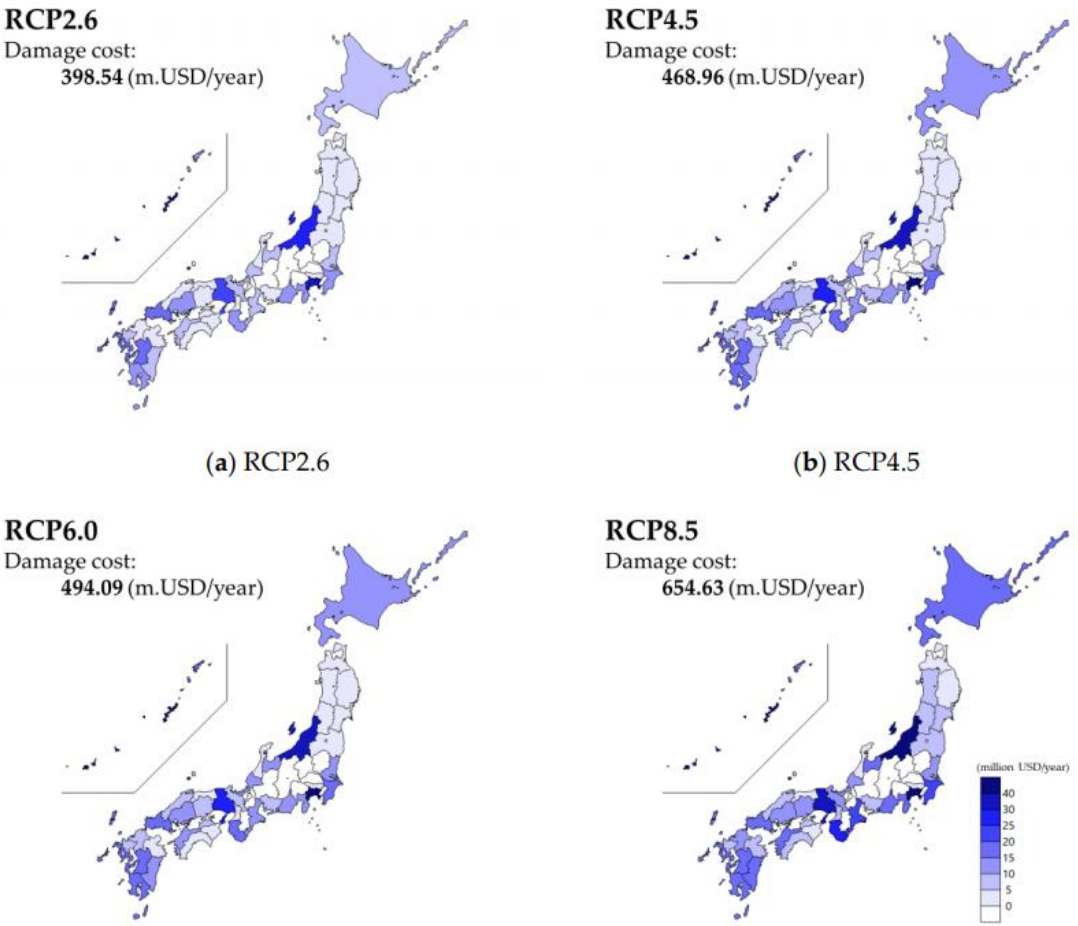
ホテルのビーチにおける養浜
（2014/2/26）

結果：GWRモデルの評価





砂浜の利用価値
（Nakajima et al., 2020）



環境要因（砂浜）を旅行費用法のレクリエーション需要関数と整合的な独立変数として有する効用関数を持った応用一般均衡モデルを使用

タイにおける砂浜の観光価値

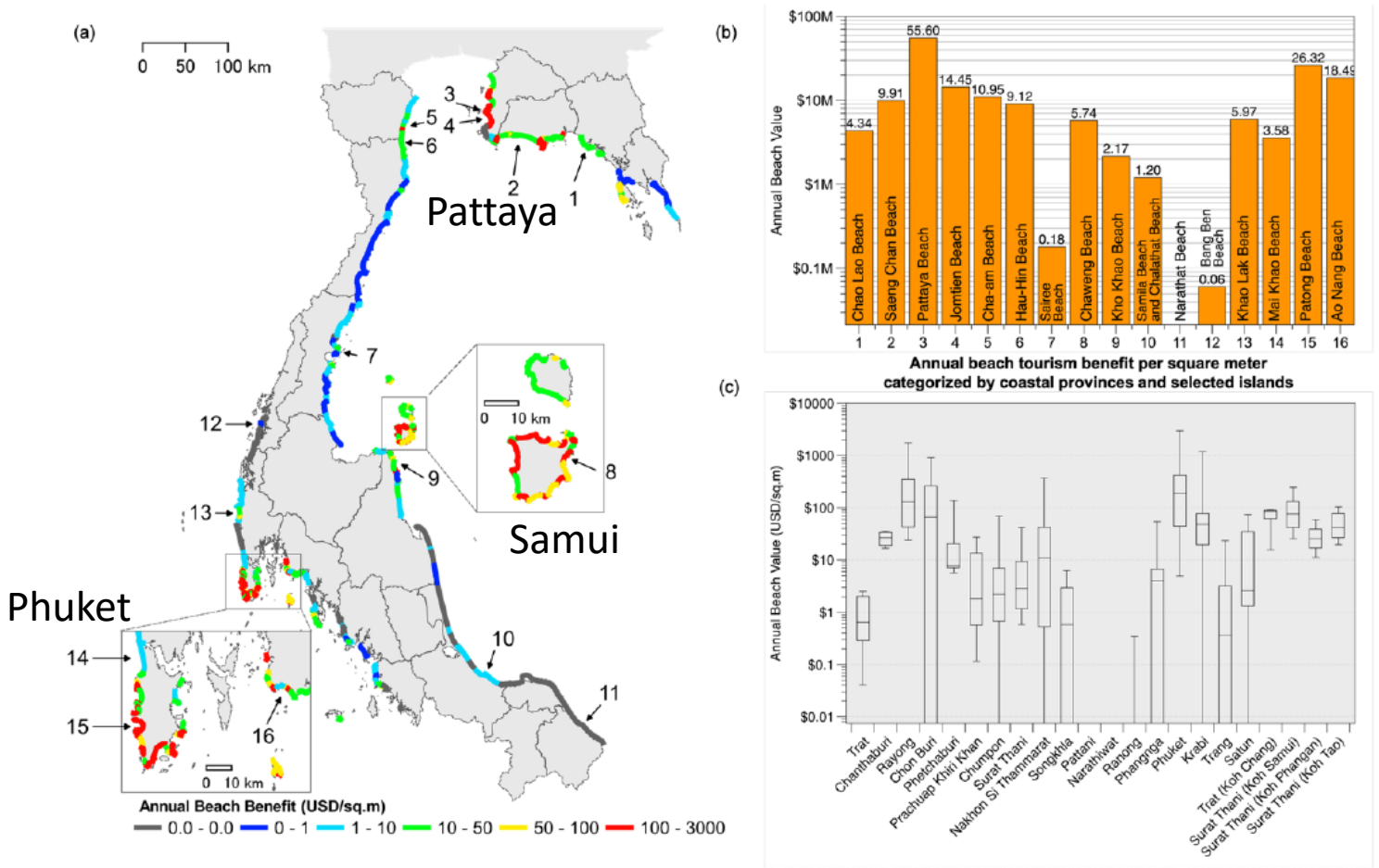


Figure 6 (a) The map of annual sandy beach tourism benefits per area in USD/m^2 obtained from geographically weighted regression analysis. (b) The annual tourism benefits 16 selected well-known beaches. (c) The annual beach tourism benefit per area is categorized by coastal provinces and selected islands.

（Chatuporn et al., 2022）