

沿岸海洋・防災研究部 研究概要

沿岸海洋・防災研究部長

高田直和



沿岸防災分野

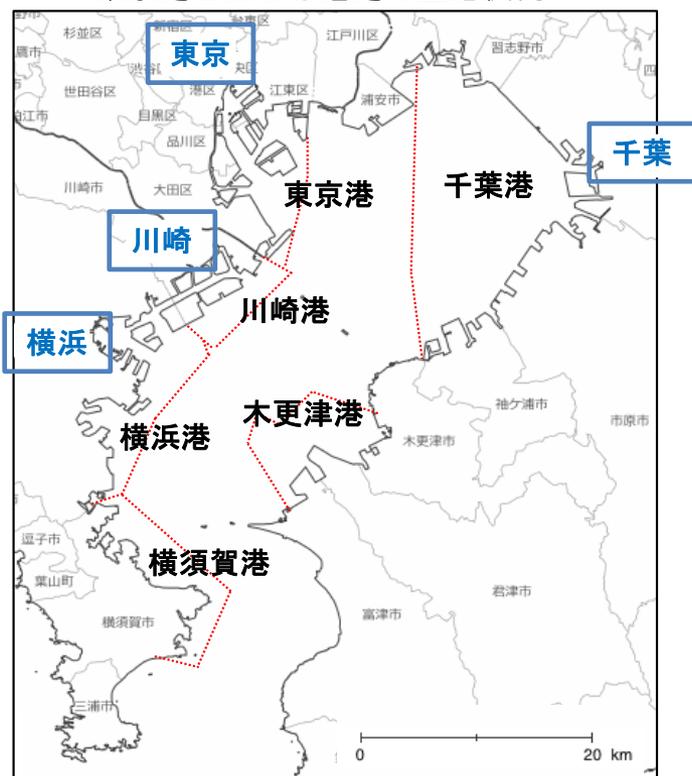


背景①

内湾域における高潮の脆弱性

- 三大湾や瀬戸内海の奥部には、集積度の高い都市と港湾が一体的に立地している。
- 高潮は、湾の奥部で大きくなる性質を持ち、三大湾等においては、高潮への脆弱性を有している。

東京湾における港湾の立地状況



堤外地に多数の施設・事業所

- 港湾の堤外地には、多くの施設・事業所が立地している。
- 堤外地には防潮施設を有しておらず、高潮による被災リスクが高い。

名古屋港の堤外地



背景②

台風等による高潮災害の発生

- 近年においても、港湾地域において、高潮災害が発生している。

台風1330号 (Haiyan) によるフィリピンの港湾地域の被災状況



H26年12月低気圧の際に根室港から漂流した船舶



Hurricane Sandy in 2012
Simulated storm surge in 2100
マンハッタンは防潮施設が未整備



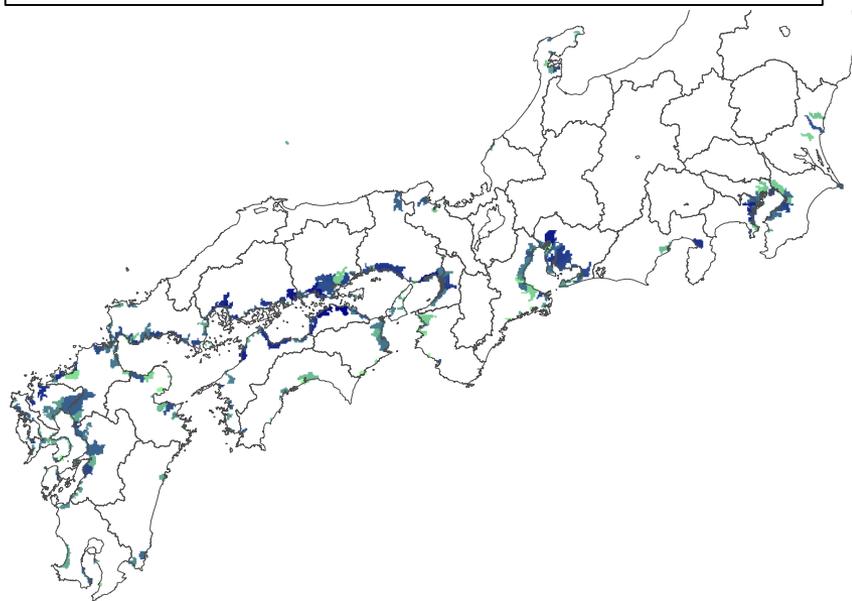
台風18号 (H21年10月) による三河港の高潮浸水



気候変動による高潮浸水リスクの増大

- 温暖化によって海面水位の上昇、台風の強大化が懸念され、三大湾、瀬戸内海等の人口・資産が集中する地域で高潮による被災リスクの増大が懸念される。

気候変動の影響を考慮した高潮による浸水人口の分布

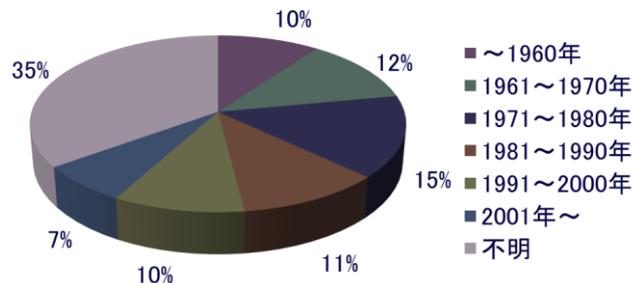


背景③

老朽海岸保全施設の増加

- 建設後の経過年数が大きい海岸保全施設が増えてきている。
- 古くに建設された海岸保全施設は、老朽化等による保有耐力の低下が懸念される。

港湾の海岸保全施設の延長



施設延長計 3,059km

H22年3月時点

経過年数

- ・44年以上 : 22%
- ・34年以上 : 37%
- ・24年以上 : 48%

課題

- 地形等の要因により、高潮時において局所的に水位上昇の発生する場合もあるが、水位観測箇所が限定されており、適切に把握できない恐れがある。
- 現状、越流時の防潮施設に作用する外力については、個別に実験を実施して定量的に評価している。

必要性

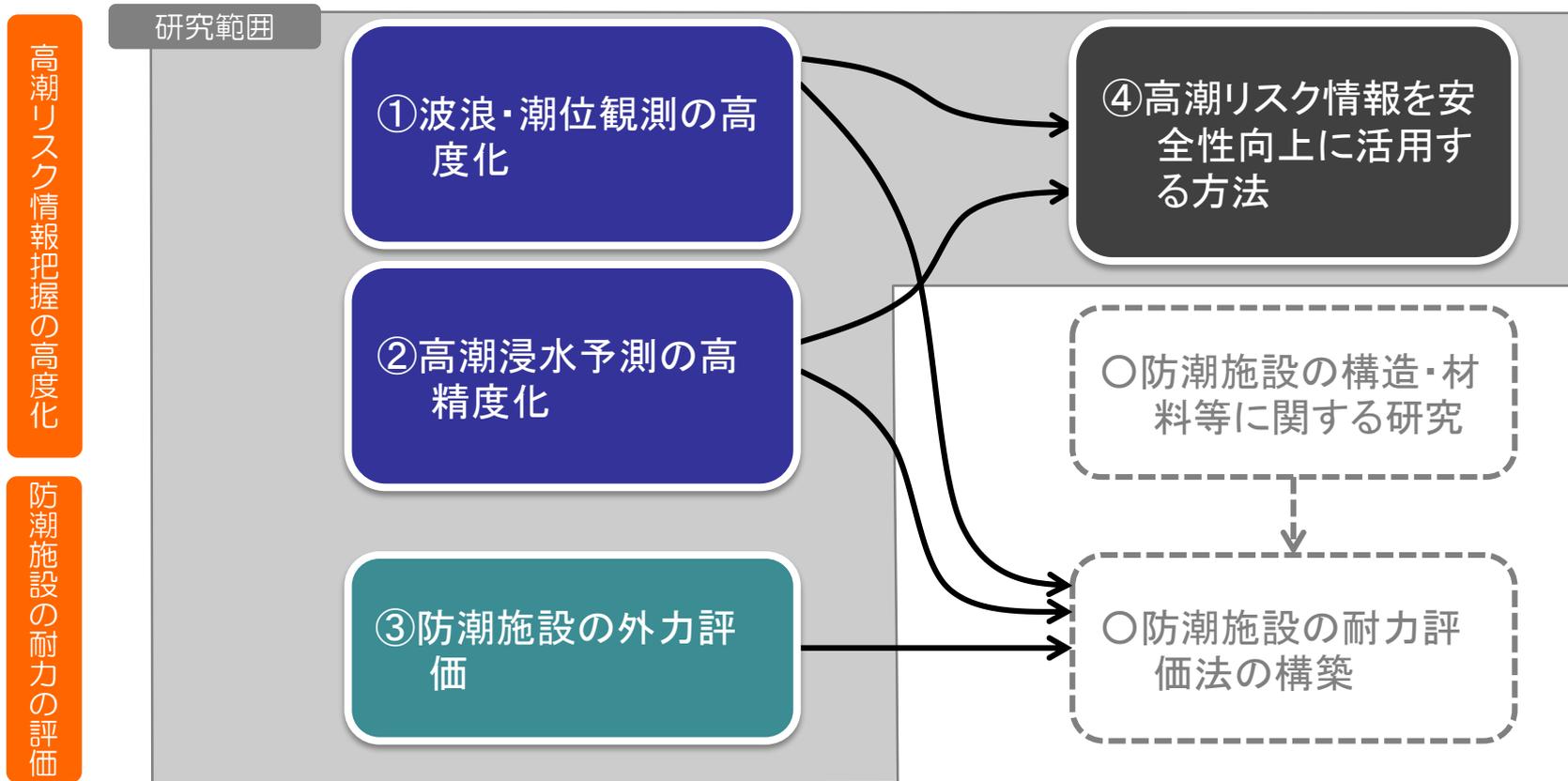
- 気候変動による高潮の激化が予想されるとともに、港湾地域は防御が不足しているため、高潮被害が発生。
- 大型の港湾では、災害による社会・経済的な影響が大きい。
- 港湾地域における高潮からの安全性を効果的に高めていく必要がある。

目的・目標

- 港湾地域における高潮からの安全性を高めていくため、以下の研究開発を行う。
- 湾内の水位（波浪・潮位）の状況を面的に把握する。
 - 高潮浸水予測を高精度化する。
 - 防潮施設の耐力を把握するため、設計条件を超えた状態での外力を把握する。

研究開発の概要

港湾地帯の浸水リスク情報を的確に把握するため、潮位・波浪の観測技術を高度化するために必要な技術を開発する。これらの情報から港湾地帯の浸水リスクを評価するため、高潮による浸水の予測の高度化を図るとともに、防潮施設の外力評価に資する知見を蓄積する。これらの高潮リスク情報を活用して、注意段階から浸水が切迫する段階までの段階的な避難方法を検討する等、効率的かつ効果的な港湾地帯の安全性を確保していくため、高潮に対するリスク情報や防潮施設の耐力を把握するための研究を行う。



① 波浪観測の高度化（海洋短波レーダ）



- 海洋短波レーダの波浪観測への活用
- 三大湾の波浪観測地点は各湾で1か所。
- 地方整備局（東京湾、伊勢湾、大阪湾、紀伊水道、有明海）において海洋レーダ稼働中。
→流れ（流速、流向）観測等に活用
- レーダの更なる有効利活用のため高潮・波浪観測への適用を検討。



- 研究項目
- 東京湾、伊勢湾、和歌山沖において、海洋レーダによる波高換算値と波浪計の観測値を比較、精度を把握。
- 精度に係る要因考察。
- 波浪観測適用可能な海域、範囲を把握。



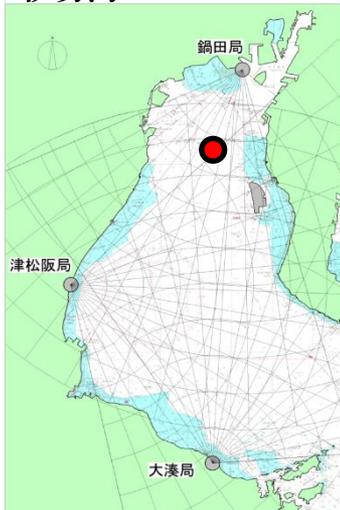
○波高の面的分布の観測が可能

海洋短波レーダ

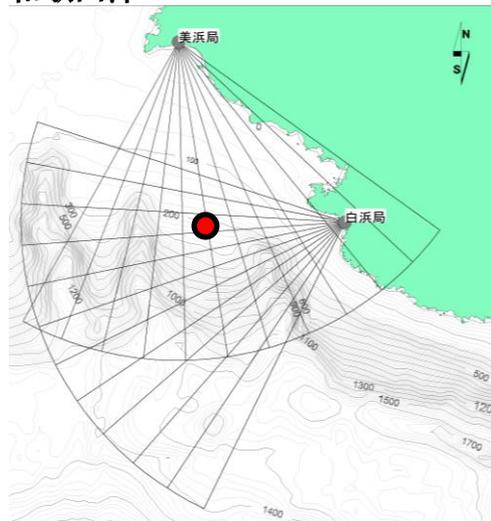
東京湾



伊勢湾



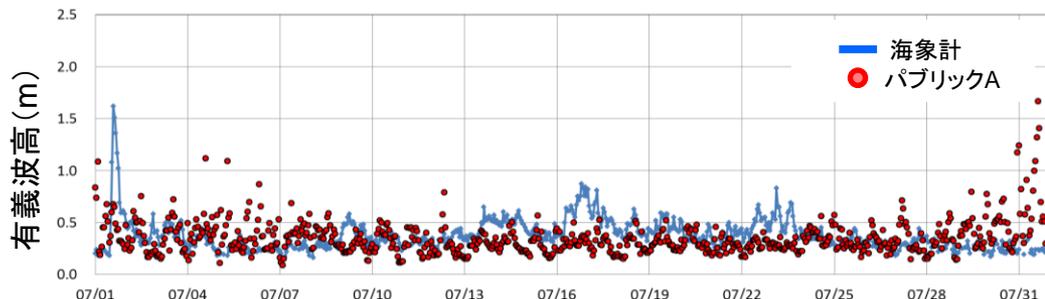
和歌山沖



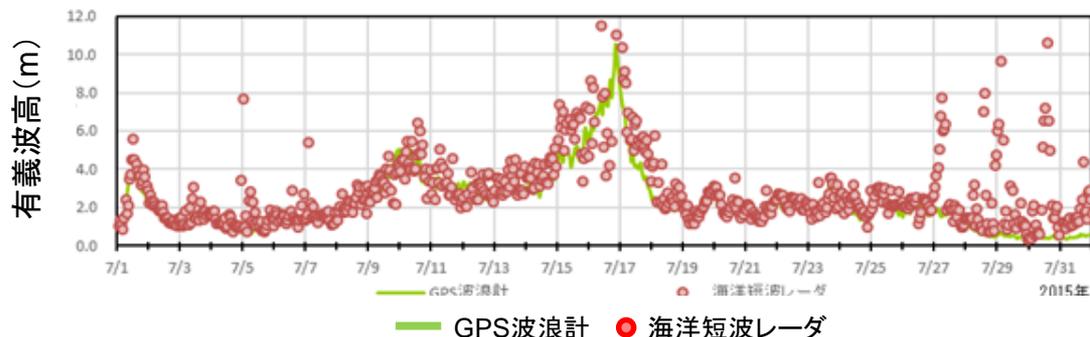
波浪計の配置と海洋短波レーダの観測範囲

- 海洋短波レーダ
- 波浪計

① 波浪観測の高度化（海洋短波レーダ）



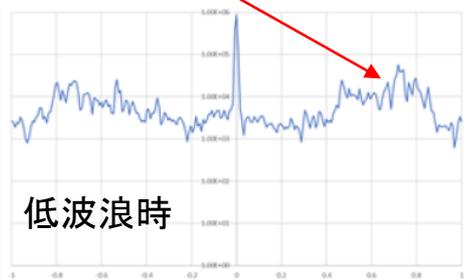
海象計と海洋レーダの波高データ(東京湾)



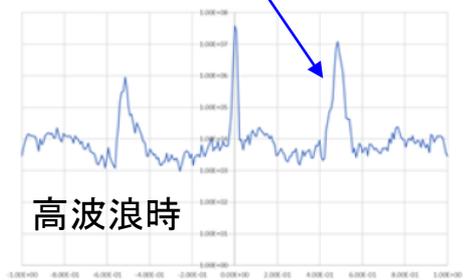
GPS波浪計と海洋レーダの波高データ(和歌山沖)

信号がノイズに埋もれる

ノイズと比較して信号が大きい



低波浪時



高波浪時

ドップラースペクトルの比較

(成果)

低波浪時(1.0m以下)は、2次散乱の信号がノイズに埋もれるため精度は低い、高波浪時(1.0m-6.0m)には、一定程度の精度



(今後)

湾口、外洋に面する海域等、波高の高いエリアでの適用可能性あり



(展開)

中部地方整備局(伊勢湾)において、波浪観測にも有効な湾口への新規設置のレーダ配置の検討開始

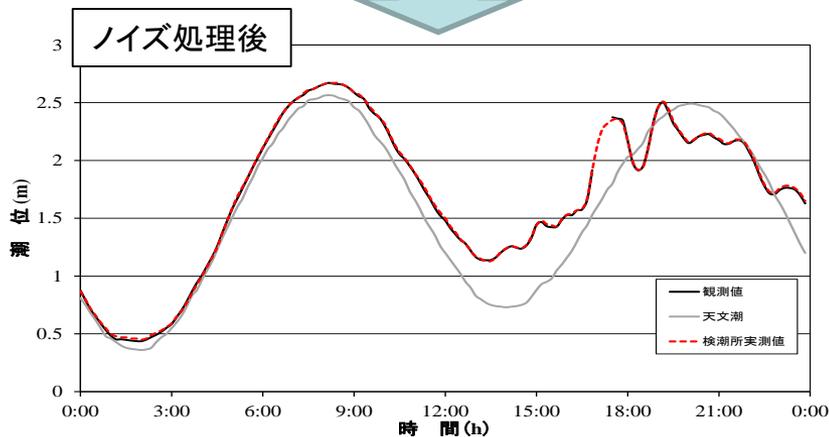
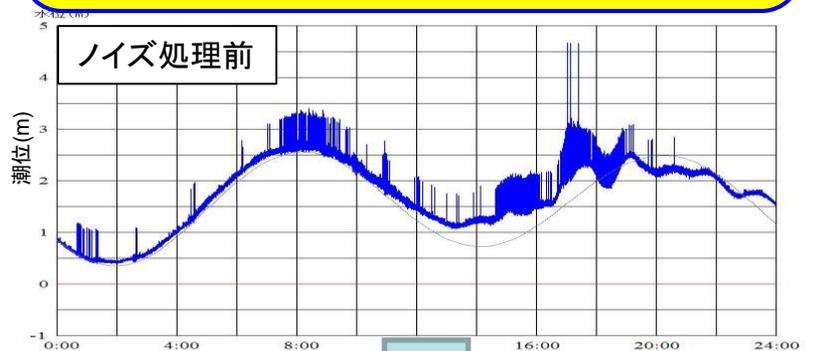
波高(m)	~1.0	1.0~6.0	6.0~
相関係数	0.061	0.81	0.35
データ数	676	1410	24

和歌山沖の相関係数

① 潮位観測の高度化（簡易観測機器）

- 簡易観測機器を用いた潮位観測を実施。
- 簡易観測機器による観測値と現地水位との関係を確認するため、名古屋港において同時検潮を実施したところ、相関係数が0.99と潮位観測の妥当性が評価できた。
- 台風来襲時のデータ取得状況を確認するため、隣検潮所データと比較したところ、一定の精度が確保され、台風時の潮位データを取得することができた。
- 汎用性を確認するため、他港湾での実証を実施し、一定の精度を確保できることを確認。

台風襲来時の潮位変動



簡易潮位観測機器



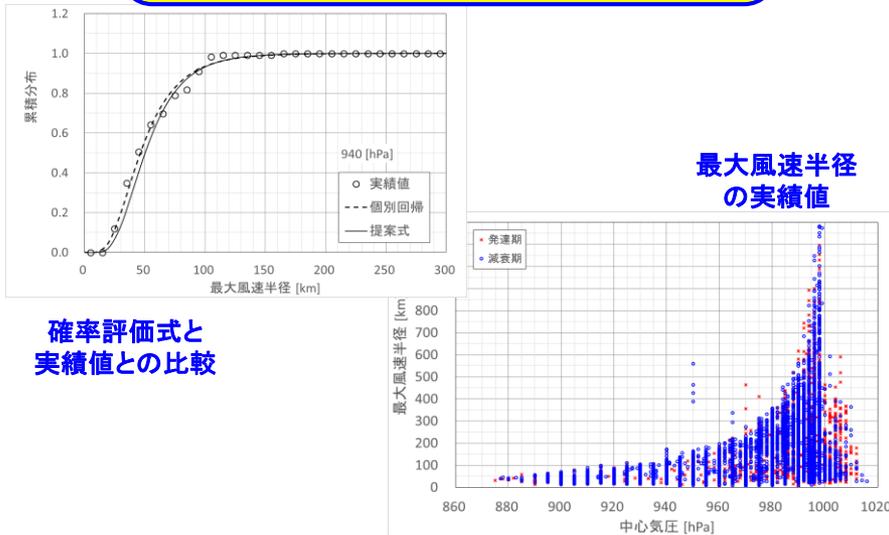
（展開）

検潮施設が少ない港湾において、港湾内での潮位偏差の分布傾向の把握（釧路港など）

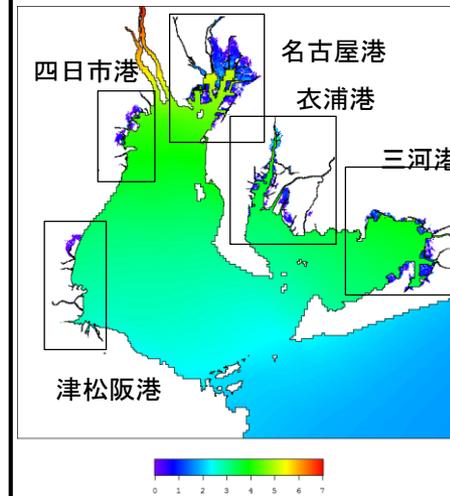
② 高潮浸水予測の高精度化

- 数値解析により、三大湾内の港湾毎に危険なコース・大きさ等の台風を把握 (→港湾毎のDB化)
- 台風実績から、台風の中心気圧と最大風速半径の関係の確率評価式を提案 (→高潮浸水想定に活用)
- 高潮・波浪の浸水解析モデルを構築し、境界処理手法を提案 (→高潮浸水想定に活用)
- 機械学習による高潮予測モデルの検討 (→学習期間・データを充実して予測精度の向上)

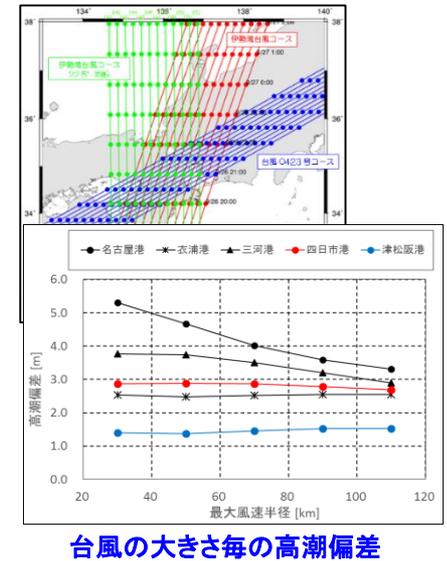
最大風速半径と中心気圧の確率評価



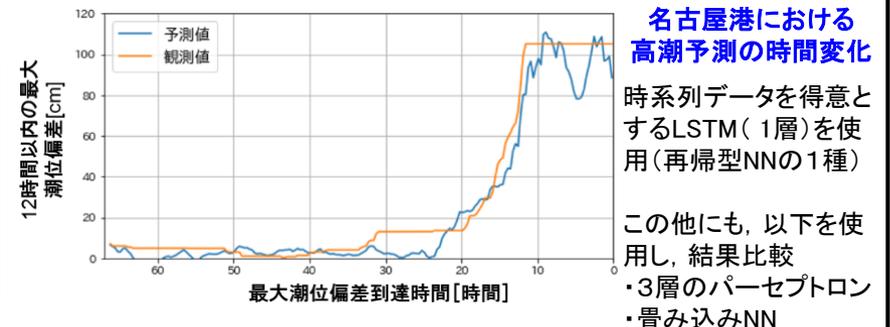
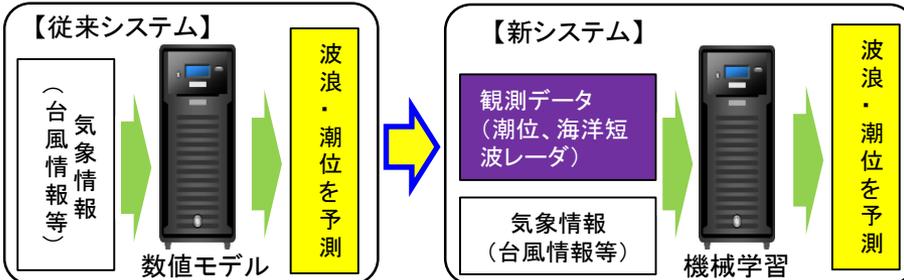
危険な台風条件の抽出



想定台風コース

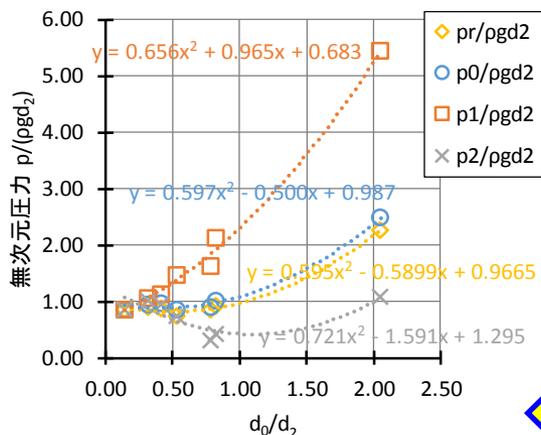
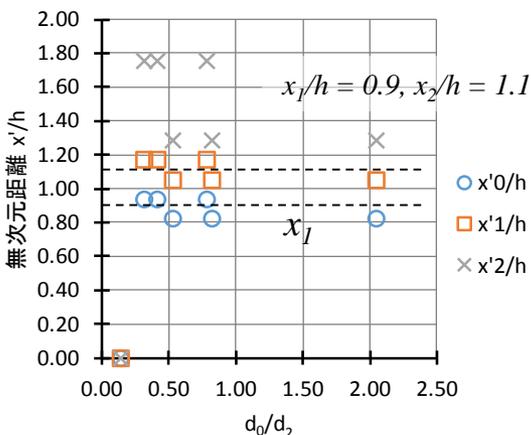
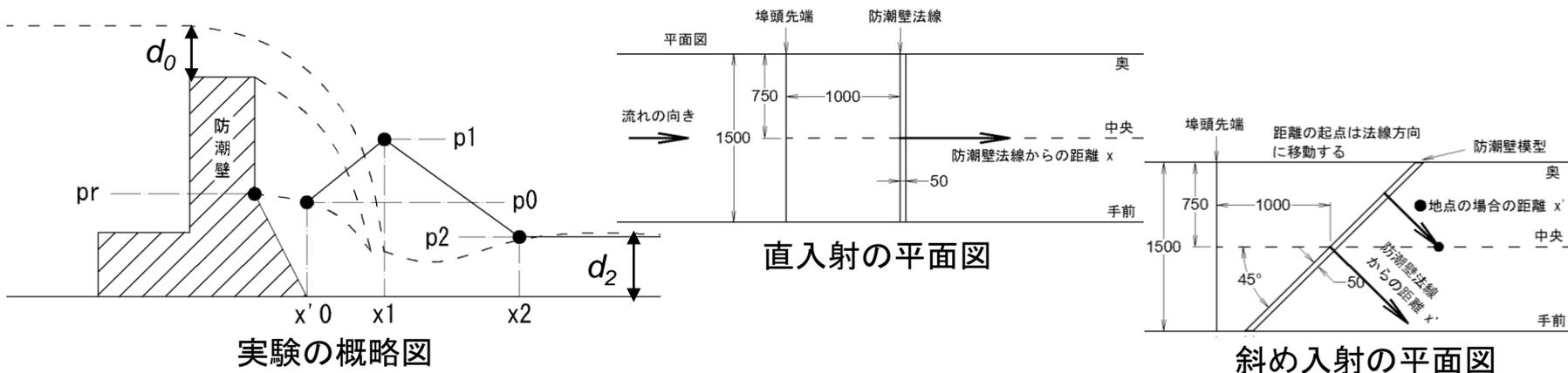


機械学習による高潮予測

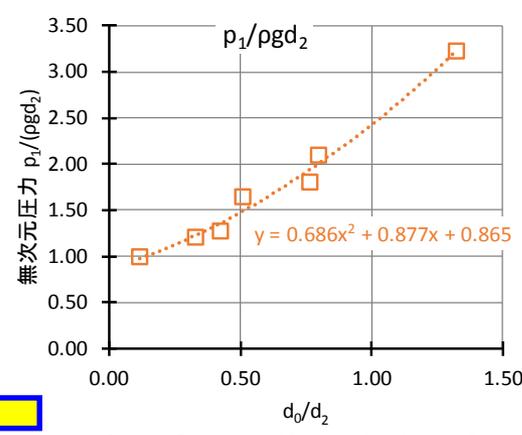


③ 防潮施設の外力評価

- 国総研が有する台風防災実験施設を用いて実験を実施。
- 設計条件を超えて越流する場合を対象に、水叩き部に作用する外力を計測。
- 直角入射および斜め入射について、水叩き部に作用する圧力の算定方法を提案。



同様の算出結果

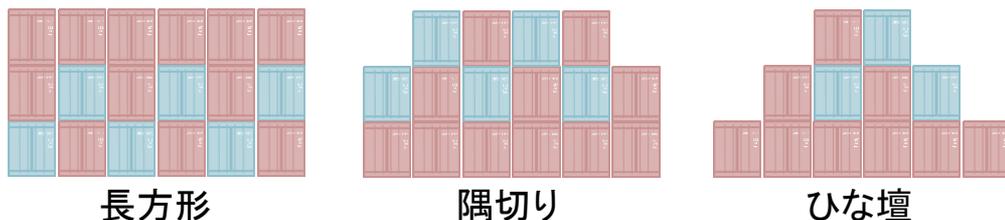


(展開) 老朽化の影響も考慮した耐力評価と併せて、維持管理等に活用。

④ 高潮リスク情報を安全性向上に活用

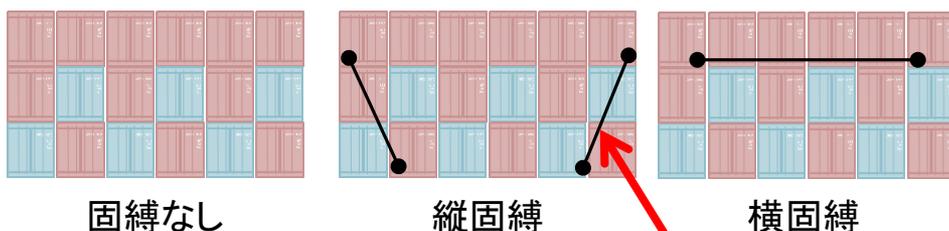
- 2018年台風21号による港湾地域の被害により、現場の要請を踏まえ実施。
- 風洞実験により、コンテナの耐風対策として、効果的な固縛方法・段積み方法を提案。
- 段数3ケース(3~5段), 積み方3ケース, 固縛方法4ケースを設定。
- コンテナ模型の積み方や固縛による対策の耐風性を定性的に評価(対策の順位付け)。

<積み方>3ケース



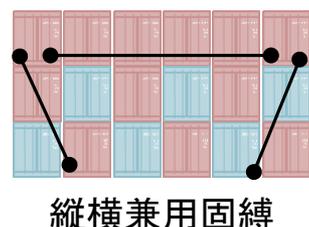
対象: 40フィートコンテナ
縮尺: 1/27 (93mm × 93mm × 451mm)

<固縛方法>4ケース



固縛ベルト(ゴム製)

実物の素材の伸び率を参考に
実験に用いる製品を選定



固縛あり



固縛なし



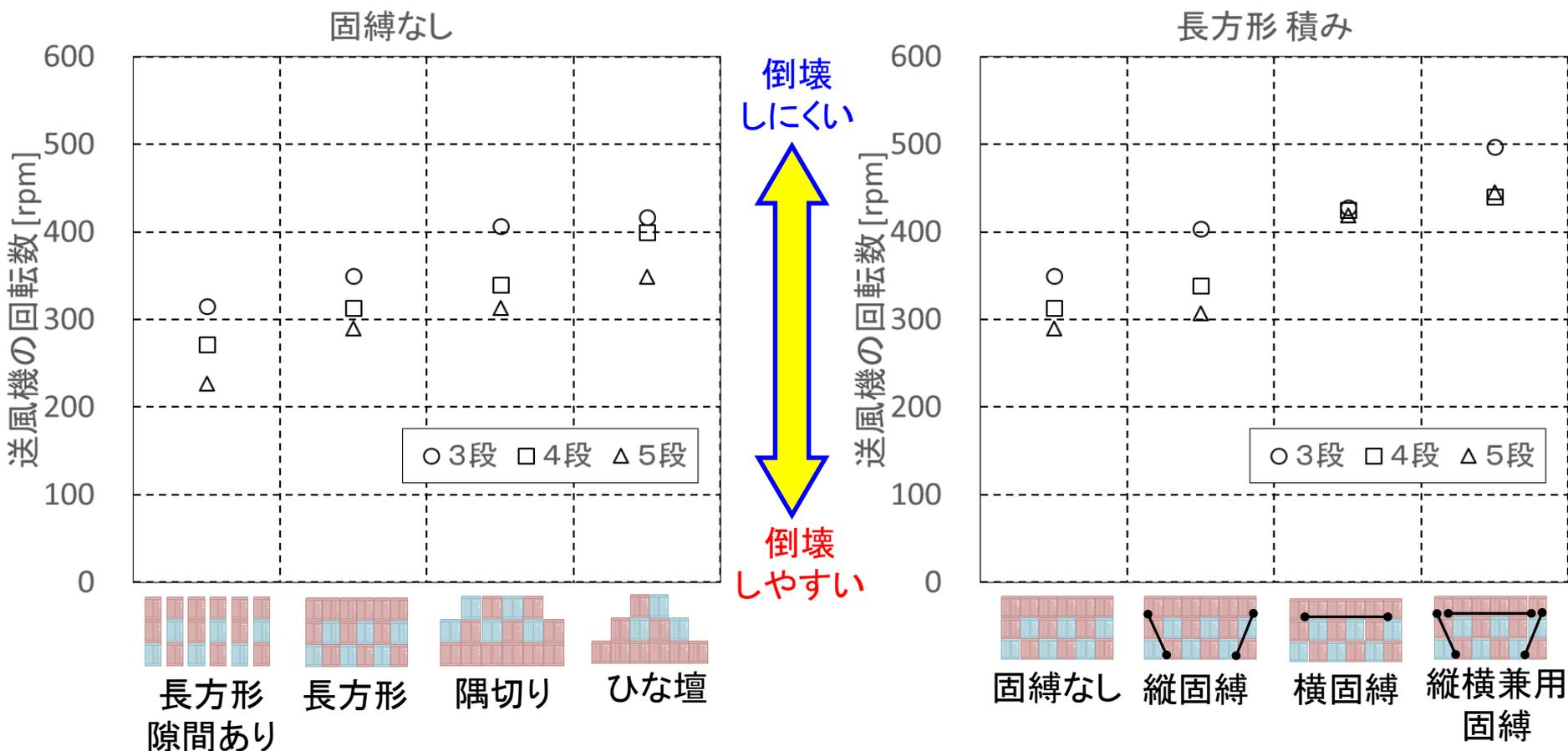
台風防災実験施設の外観



実験の様子(倒壊状況)

④ 高潮リスク情報を安全性向上に活用

- 段数 : <倒壊しにくい> 3段 → 4段 → 5段 <倒壊しやすい>
- 積み方 : <倒壊しにくい> ひな壇 → 隅切り → 長方形 <倒壊しやすい>
- 固縛方法 : <倒壊しにくい> 縦横兼用 → 横 → 縦 <倒壊しやすい>
- 横方向の固縛が効果的



(展開) 定量的な検討により、風速レベルに応じた固縛等の耐風対策の提案。

- ・2019年台風15号による浸水で、横浜港で約430個のコンテナがふ頭上に散乱
- ・過去20年間で少なくとも5回の被害が発生しており、被害の予測と対策が必要

約430個がふ頭内に散乱



横浜港(2019年台風15号)

出典: 国土交通省関東地方整備局



神戸港(2018年台風21号)

出典: 毎日新聞

約70個*
が海上に
流出

*神戸港と大阪港とを
合わせた値



三河港(2009年台風18号)

出典: 海上保安庁

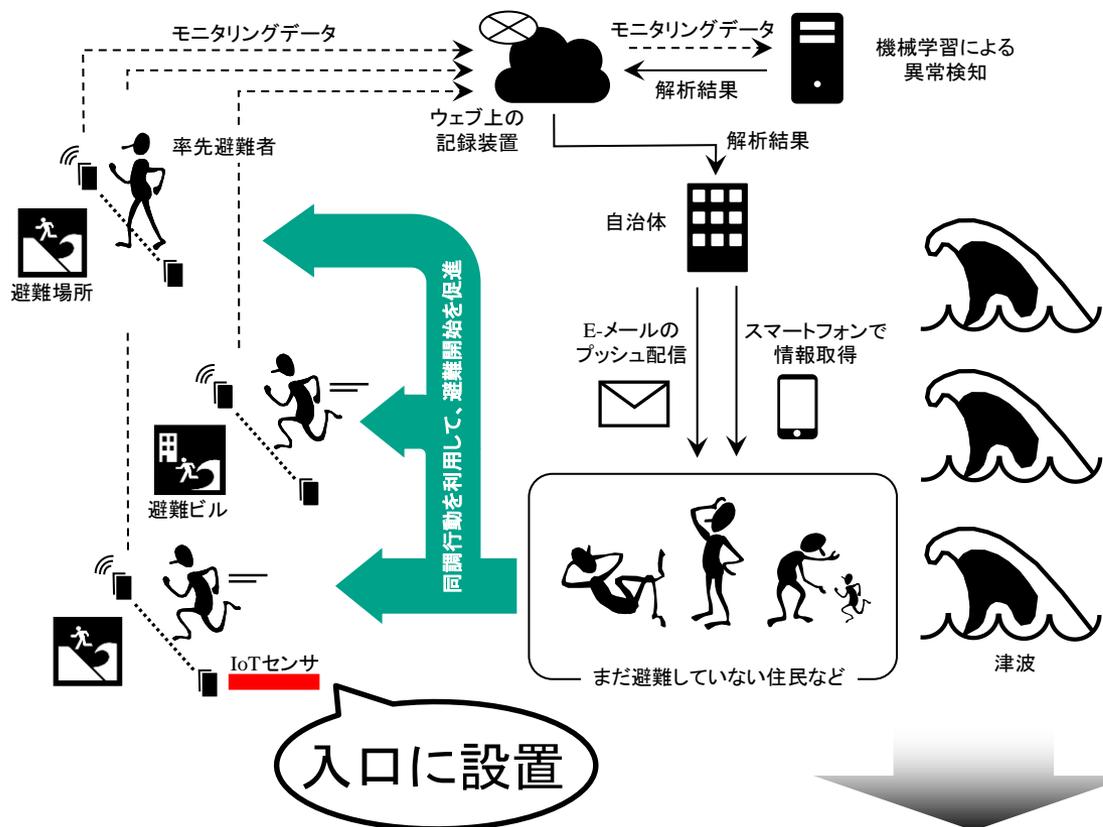
約140個
がふ頭内
に散乱

詳細な現地調査を実施し、

浸水深, 蔵置方法, ふ頭向きと風向の相対的な位置関係などを考慮した
コンテナ流出の評価手法について基礎的検討を進めている

④ IoTセンサを用いた避難安全性の向上に関する研究

- ・避難を呼びかけても「なかなか避難しない人」の行動開始を早める必要がある
- ・大災害時は、周囲の人の行動を参考にした「同調行動」が発生すると考えられる



ウェブ上に人流データを送信



IoTセンサの設置状況(試行)

常時インターネットに接続したIoTセンサを使って、

- ・率先避難者への同調行動を利用して避難開始を促進するシステムを開発
- ・建物入口に設置し、人流データを取得・異常検知を試行的に実施している

④ 高潮リスク情報を安全性向上に活用

港湾の堤外地等における高潮リスク低減方策ガイドライン(H31.3改訂. 国土交通省港湾局)

- ・我が国の港湾においては、海岸保全施設より海側の堤外地に物流機能が集中し、様々な企業が立地
- ・特に、三大湾は、臨港地区の8割以上が堤外地であり、高潮被害により、我が国全体の物流・生産活動が大きく停滞する可能性
- ・堤外地の立地企業や人命を守り、港湾の堤外地等における高潮対策を推進することを目的にガイドラインを策定
- ・ガイドライン改訂において、検討委員会の委員・事務局として参画し、本研究成果の活用について検討

(ガイドライン概要)

【堤外地において検討すべき高潮・強風対策】

- フェーズ別高潮対応計画の策定
- エリア減災計画の策定
- 防災情報共有体制構築・想定されるリスクの整理

(ガイドライン以外)

- 都道府県が最大クラスの高潮浸水想定および高潮警戒水位の設定を検討(平成27年改正水防法)

本研究成果

- 高潮浸水解析技術を、「エリア減災計画の策定」等での浸水想定に活用。
- 観測技術を、「エリア減災計画」・「防災情報共有体制の構築」でのモニタリング強化に活用。
- 効果的なコンテナの固縛方法等を、耐風対策としてガイドラインに反映。
- 高潮警戒水位の設定に簡易観測技術を活用。
- 想定する台風シナリオの条件設定に、台風の確率評価を活用。

(展開)ガイドラインに基づく対策実績等のフォローアップ

【フェーズ別高潮対応計画のイメージ】

防災情報	フェーズ	時間目安	基本的な防災行動	
			情報収集・体制	対策・関係者対応
警報級の現象が予想される台風の発生	フェーズ1 準備・実施段階	台風接近の5～1日前	情報収集 災害時の体制準備	事前対策の準備 注意喚起
強風注意報、高潮注意報	フェーズ2 状況確認段階	台風接近の1日～半日程度前	関係者への情報提供 避難準備、体制確認	状況確認
暴風警報、高潮警報 or 暴風特別警報、高潮特別警報	フェーズ3 行動完了段階	台風接近の半日～6時間程度前	夜間に警報級が予想されている場合には 防災行動を繰り上げ	
			従業者等の避難	対策完了の確認
警報解除・体制解除		台風接近時(高潮・暴風発生) 台風通過後(高潮・暴風収束)		モニタリング 点検

本研究の成果	展開・連携等	現場での活用
<p>【波浪・潮位観測】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 面的な波高推定(高波浪時) ● 安価で精度の高い潮位観測 		<p>【被災原因の究明】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 被災時の外力把握 高潮・波浪の追算精度の検証
<p>【高潮浸水予測】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 機械学習による高潮予測 ● 危険な台風条件の提示 ● 最大風速半径の確率評価 ● 境界処理の改善手法 	<p>精度向上</p>	<p>【危険度把握】 <u>タイムラインに活用</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 実況把握 波高・潮位の実況と施設天端高を比較 ● 予測 波高・潮位の予測と施設天端高を比較
<p>【防潮壁の外力評価】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 水叩き部の圧力算定式 	<p>施設の耐力評価(*3)</p>	<p>【事前対策】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 想定リスク評価 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 浸水被害の確率評価 ➢ より実態に即した浸水被害想定 (耐力に応じた施設の破壊等を考慮)
<p>【高潮リスク情報】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 安全性向上への活用(*2) ● 効果的な固縛方法等 	<p>ガイドライン(*1)に反映</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 施設の維持管理 老朽化対策の優先順位の設定 ● コンテナ 散乱・漂流防止対策

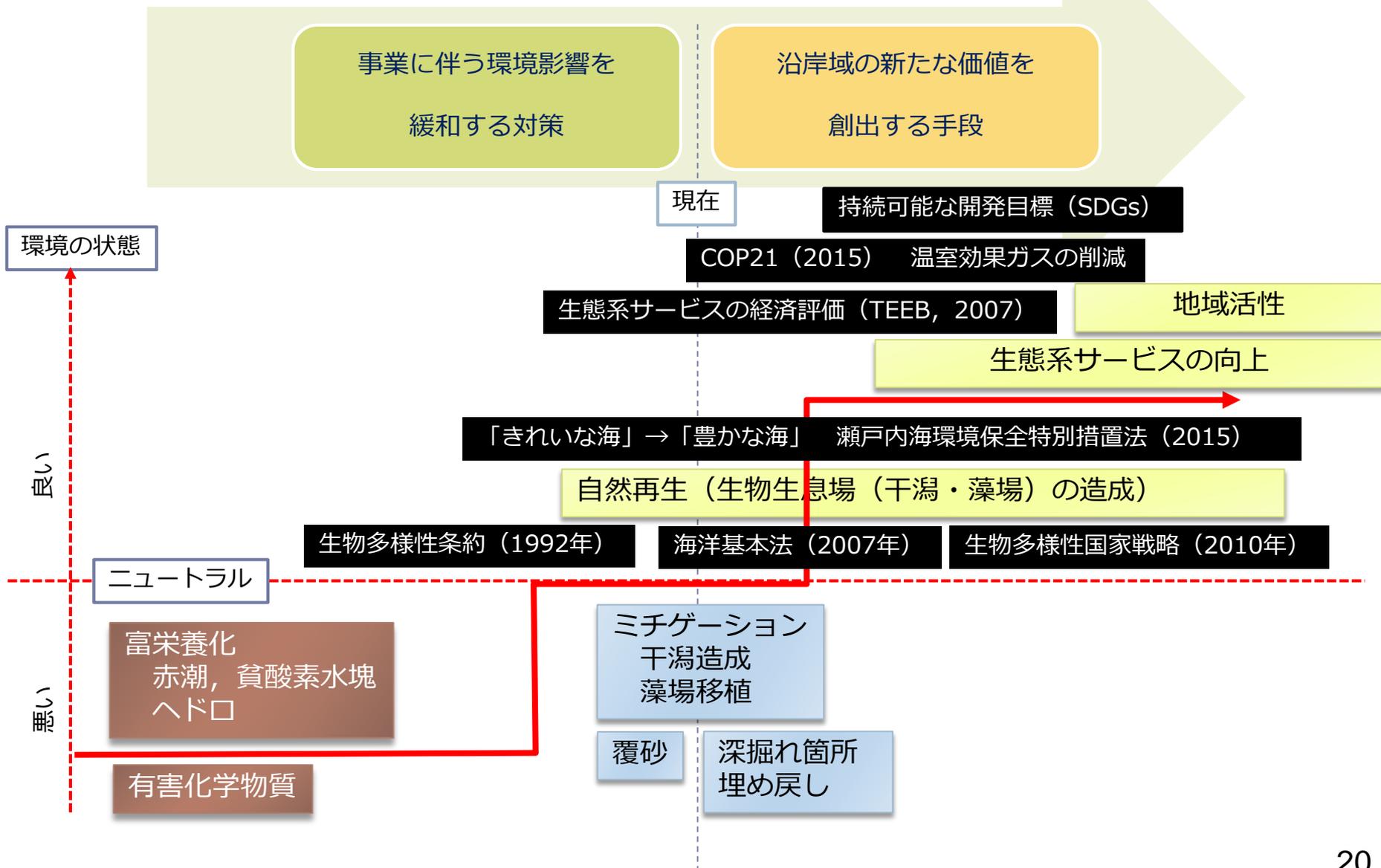
(*1) 港湾の堤外地等における高潮リスク低減方策ガイドライン(H31.3改訂. 国土交通省港湾局)

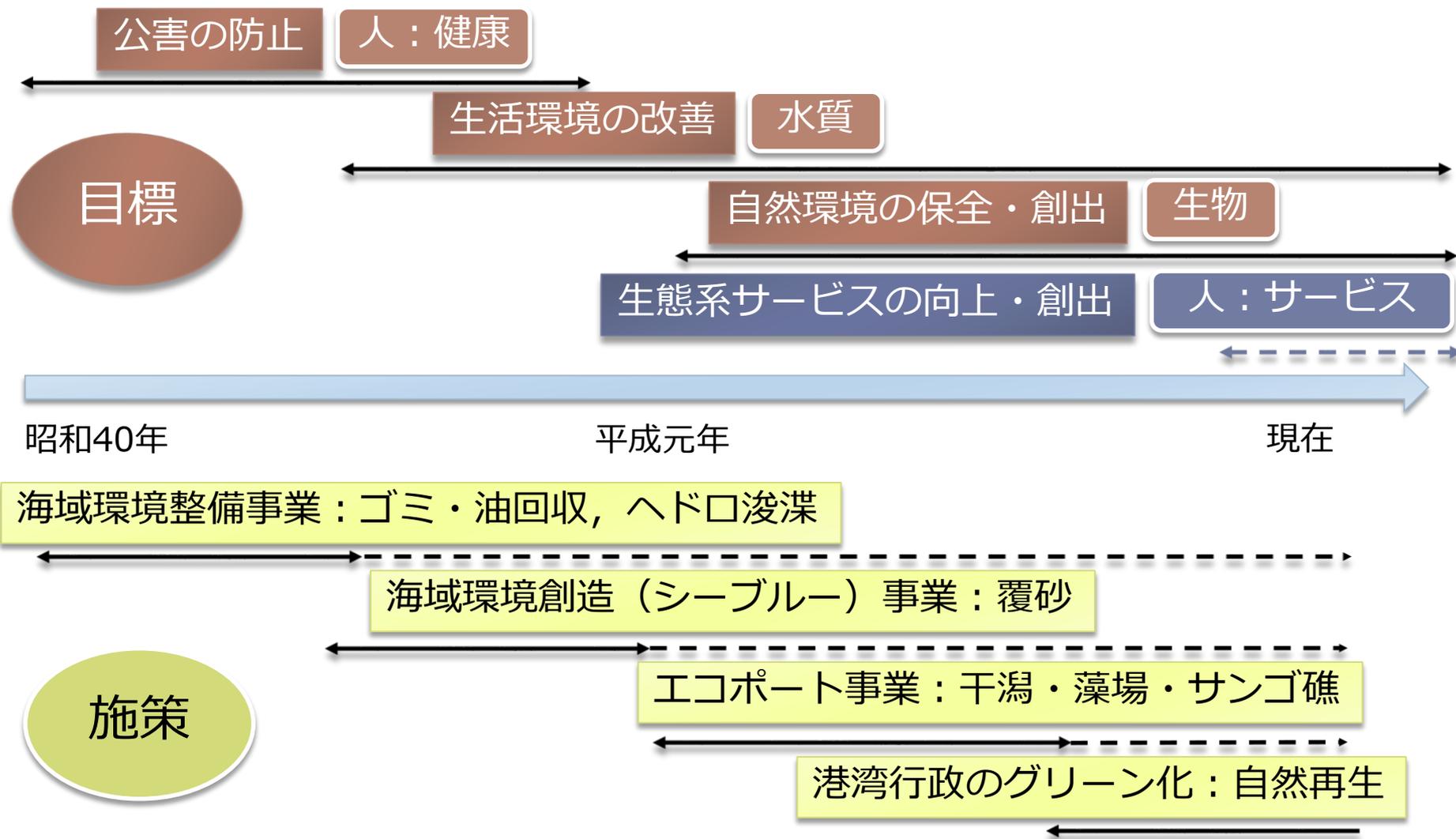
(*2) ガイドラインの対策項目への活用を念頭に、記載の本研究成果の活用を検討 (*3) 老朽化による影響も考慮

海洋環境分野



港湾域・沿岸域と環境





港湾技術基準の省令・告示の追加（H30）

- 防波堤，護岸，岸壁及び棧橋の省令・告示に，「環境の保全を図る」ことが追加された

各施設の解説の追加

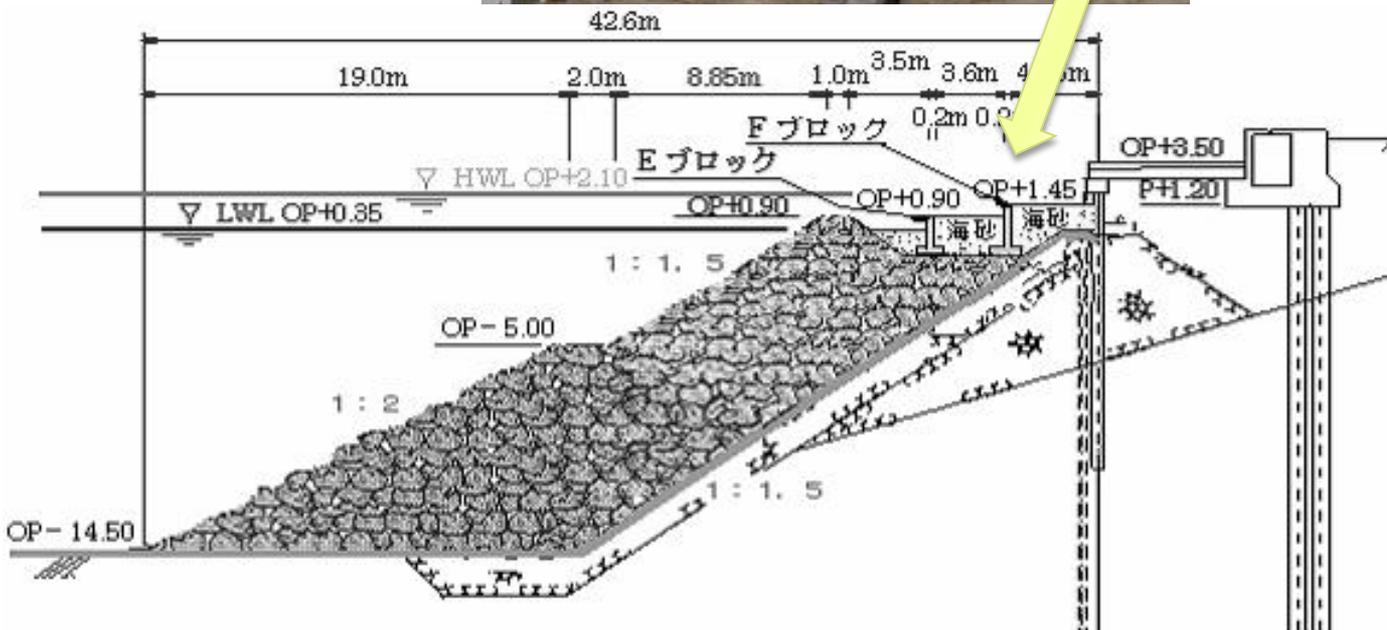
- **生物共生型**防波堤
- **生物共生型**護岸
- **生物共生型**岸壁
- **生物共生型**棧橋

これらの総称
“生物共生型港湾構造物”

被覆形式 砂泥タイプ



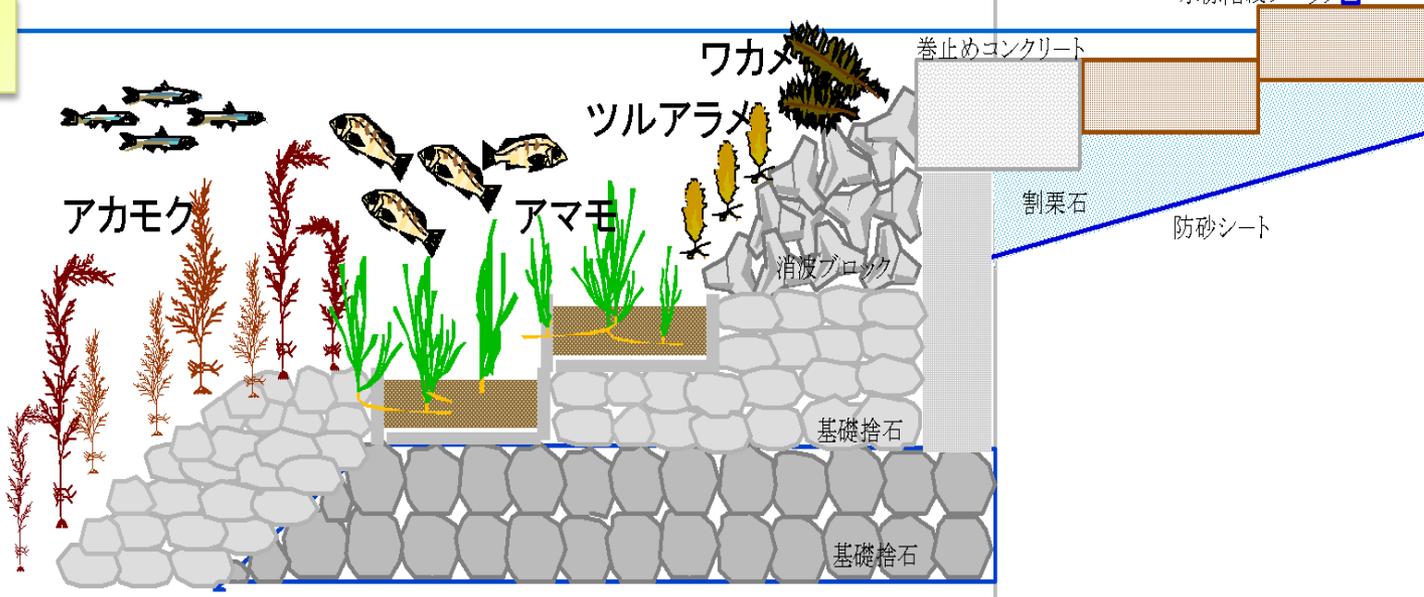
干潟



被覆形式 ブロックタイプ



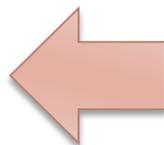
藻場



グリーンインフラ

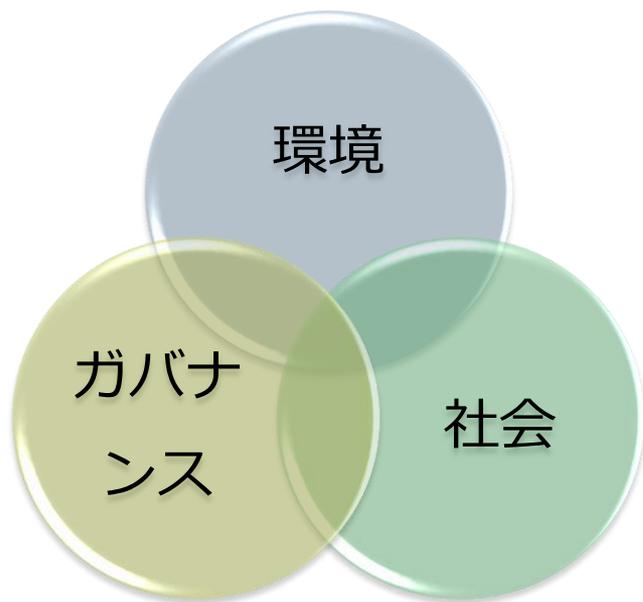
平成27年度に閣議決定された国土形成計画、第4次社会資本整備重点計画では、「国土の適切な管理」「安全・安心で持続可能な国土」「人口減少・高齢化等に対応した持続可能な地域社会の形成」といった課題への対応の一つとして、グリーンインフラの取組を推進

- 生物共生型港湾構造物
- グリーンインフラの普及・促進



適切な評価が必要

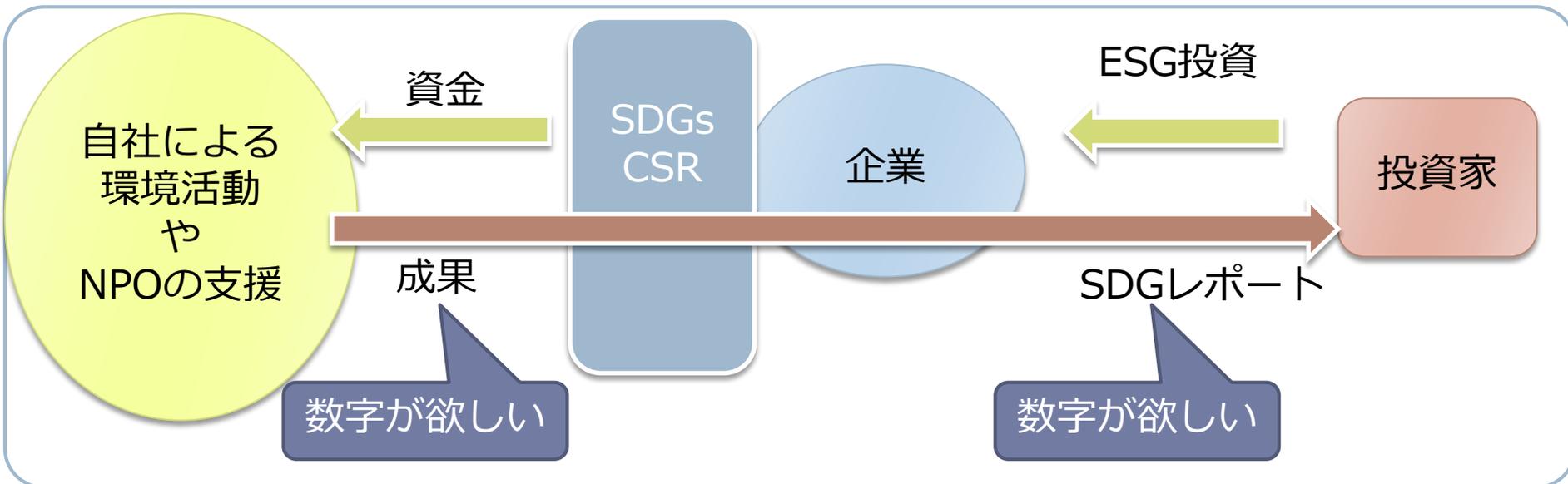
- ▶ ESG（環境：Environment，社会：Social，ガバナンス：Governance）
- ▶ 金融システムの破壊による投資リスクを回避すべく，ESGに関して積極的な民間企業に，投資家が優先的に投資する考え方



- 持続可能な世界を実現するための17のゴールから構成され、地球上の誰一人として取り残さない
- 類似用語：CSR (corporate social responsibility) は、企業が倫理的観点から事業活動を通じて自主的に社会に貢献する責任
- SDGsはCSR活動における国際的なガイドラインのようなものとして利用されることもある



- ESGを意識している民間企業は、必ずしも環境に精通している訳ではない
- しかし、環境保全に貢献したいというモチベーションに満ちている
- そのような民間企業に、環境の保全・再生・創造の価値が数字として理解できるようなツールを提供したい。



沿岸域の環境の価値の「見える化」

- ▶ 目標の変遷：港湾域・沿岸域の生態系サービスの向上
- ▶ 生物共生型港湾構造物：普及・促進
- ▶ クルーズ：港は「おもてなし空間」
- ▶ ESG投資：民間企業・NPOとの協働

- 沿岸域の環境価値（生態系サービス）の「定量評価」

管理に使いたい

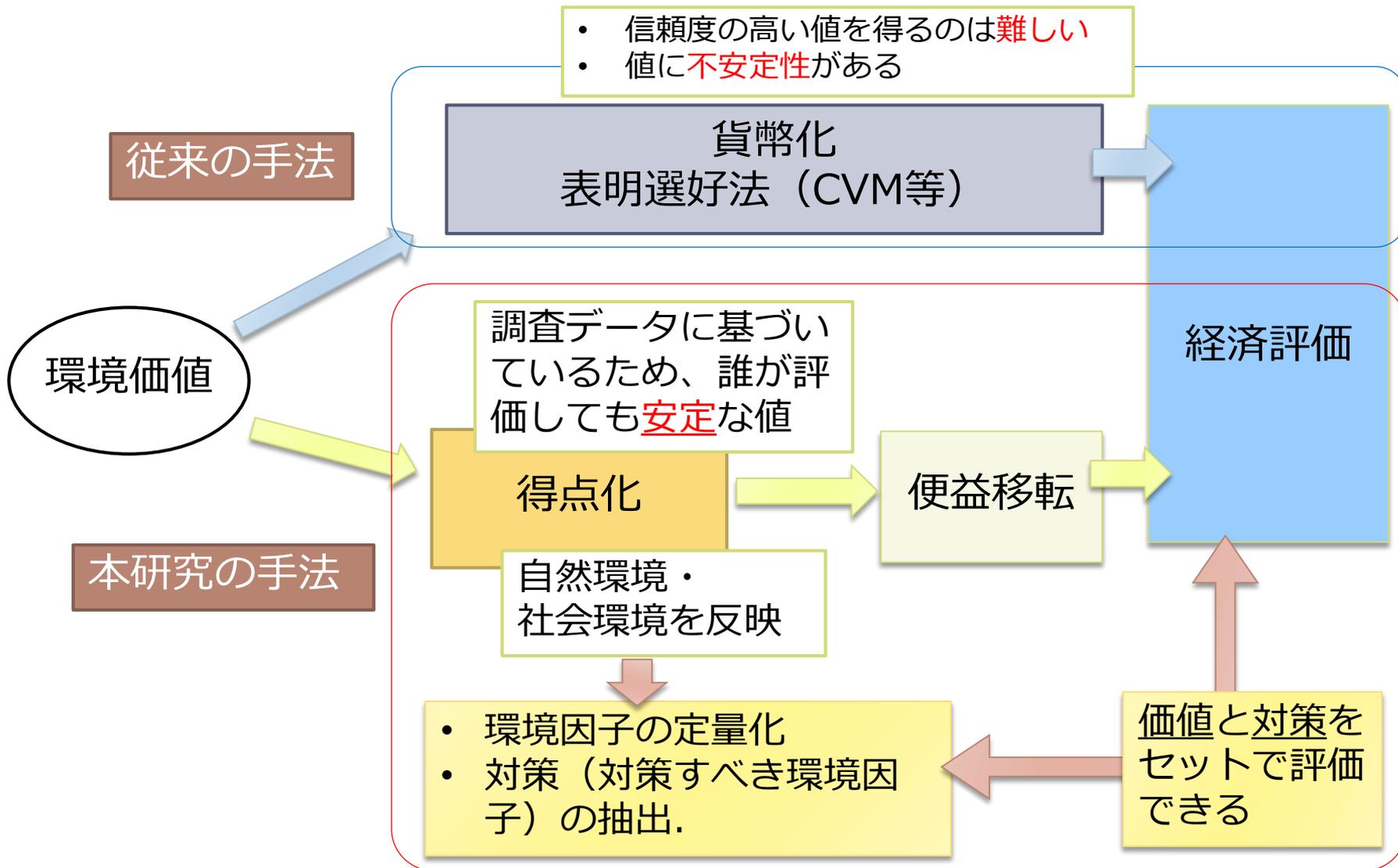
計画に使いたい

持続可能性も知りたい

かなり欲張りです

沿岸域の環境価値の統合的評価手法

Integrated valuation Method for Coastal Ecosystem Services
(IMCES)



得点化

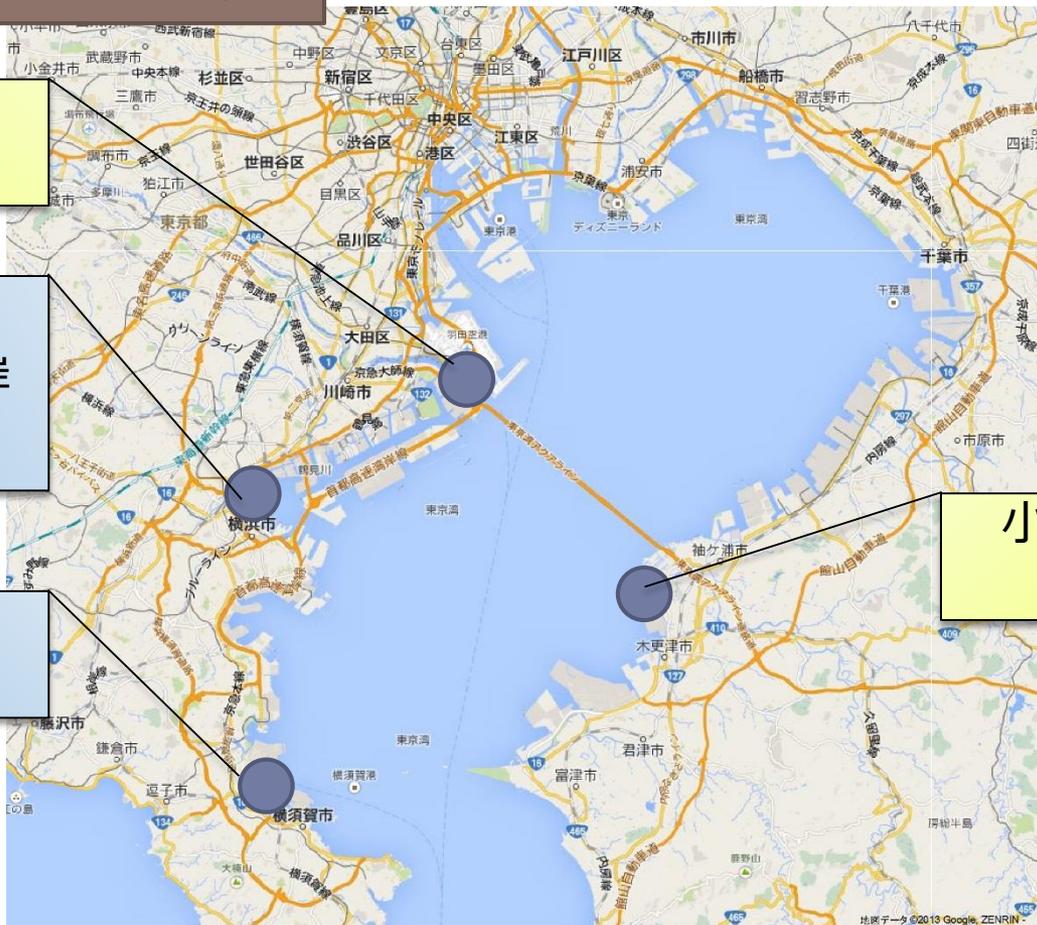
2つの自然干潟と2つの造成干潟

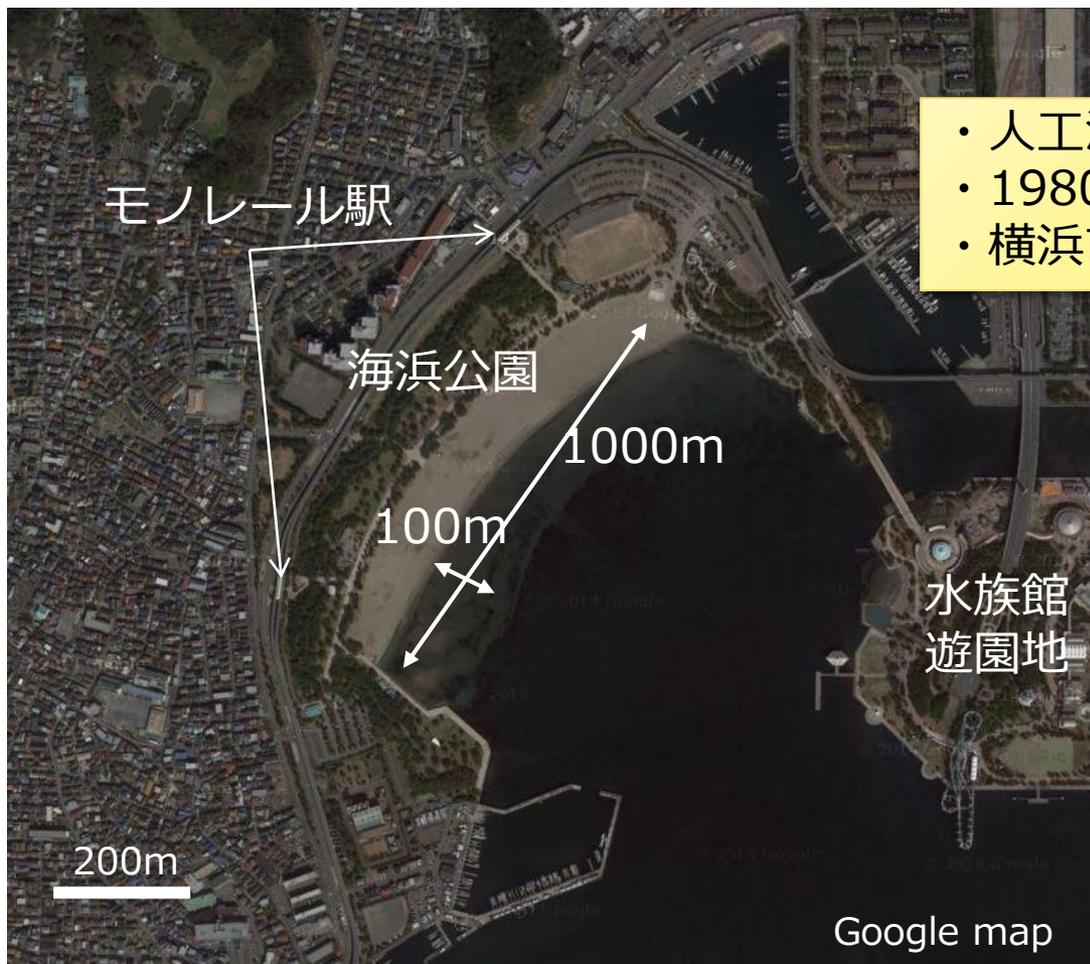
多摩川河口干潟
(自然干潟)

潮彩の渚
(生物共生型護岸
造成干潟)

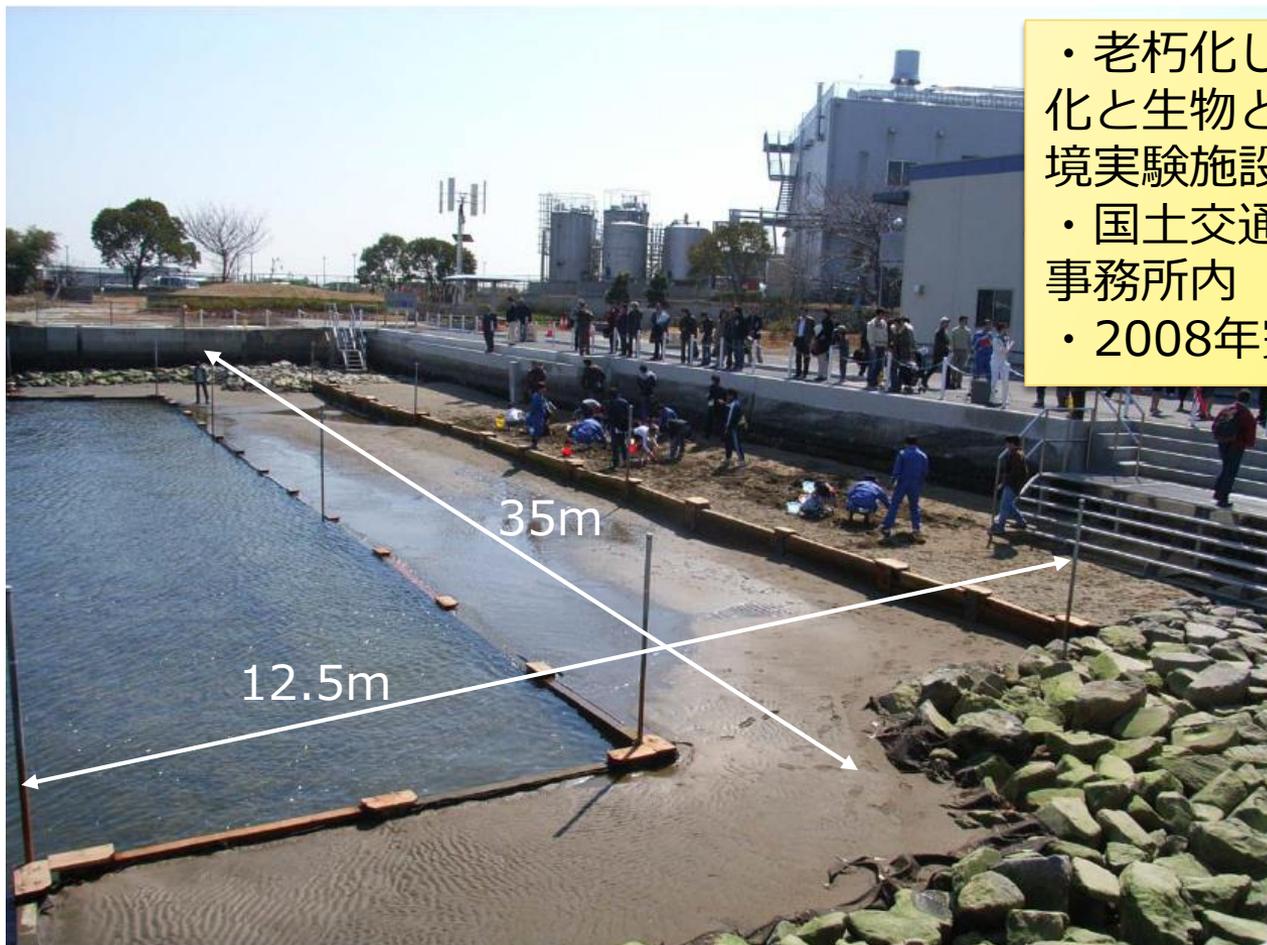
海の公園
(人工海浜)

小櫃川河口干潟
(自然干潟)

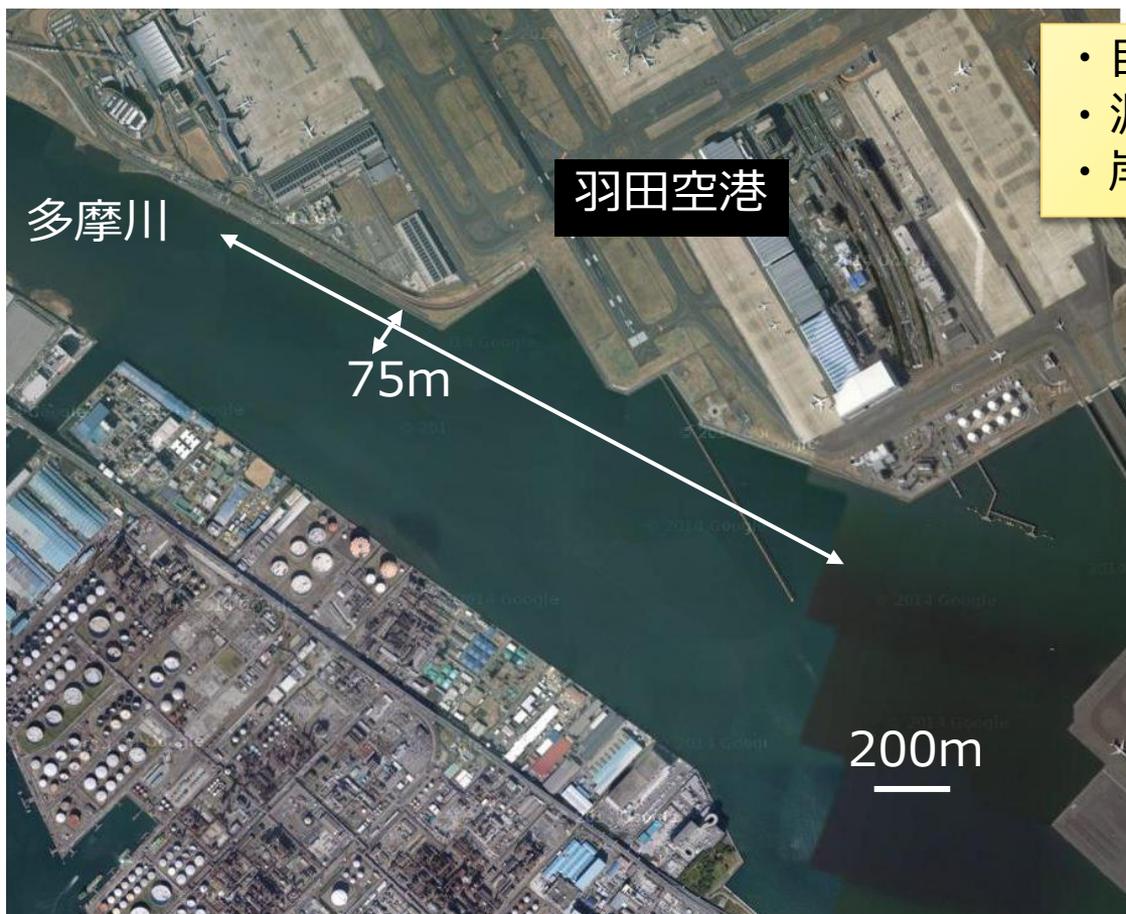




- ・人工海浜
- ・1980年 砂浜暫定オープン
- ・横浜市内で唯一の海水浴場



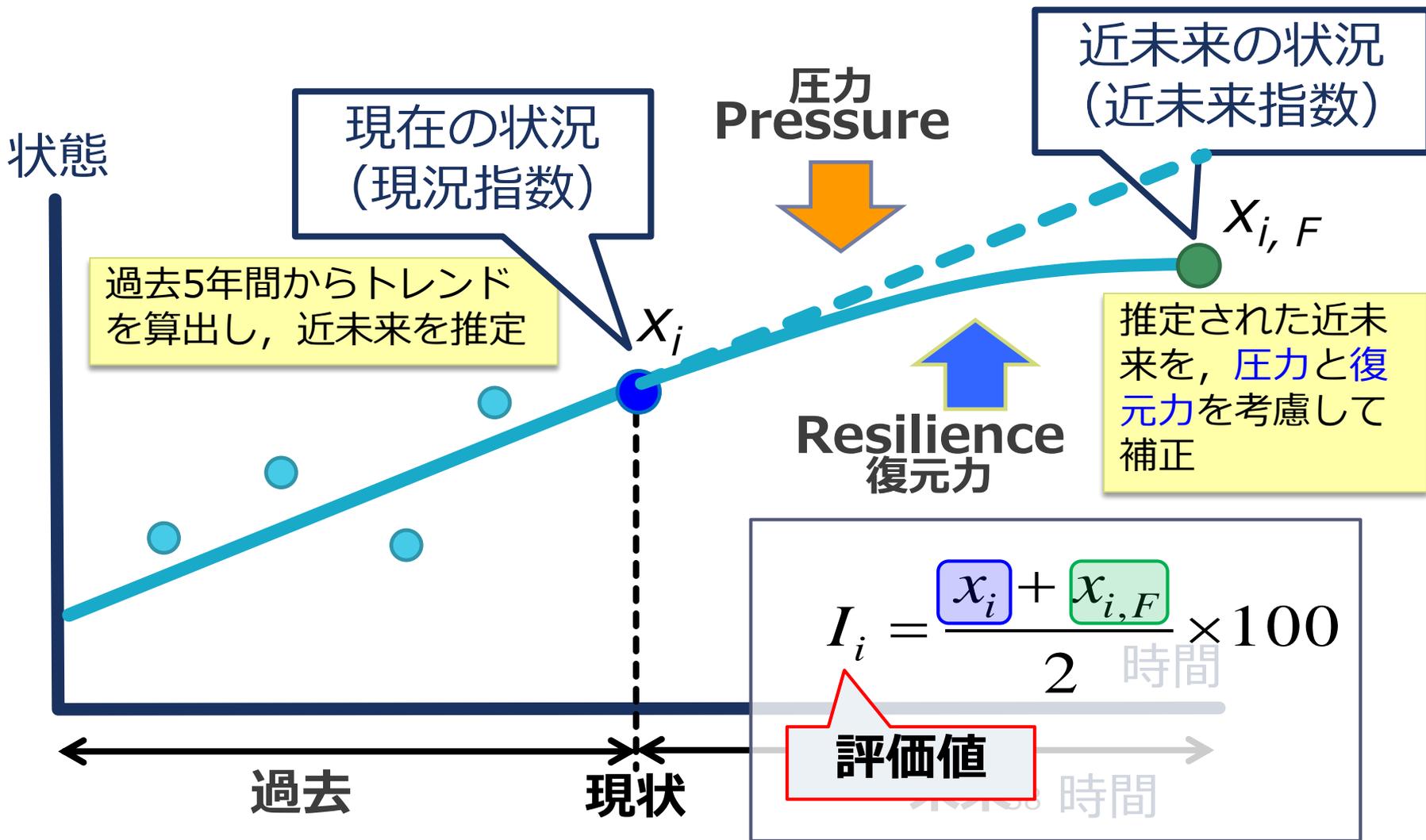
- ・老朽化した護岸の耐震性の強化と生物との共存を目指した環境実験施設
- ・国土交通省横浜港湾空港技術事務所内
- ・2008年完成



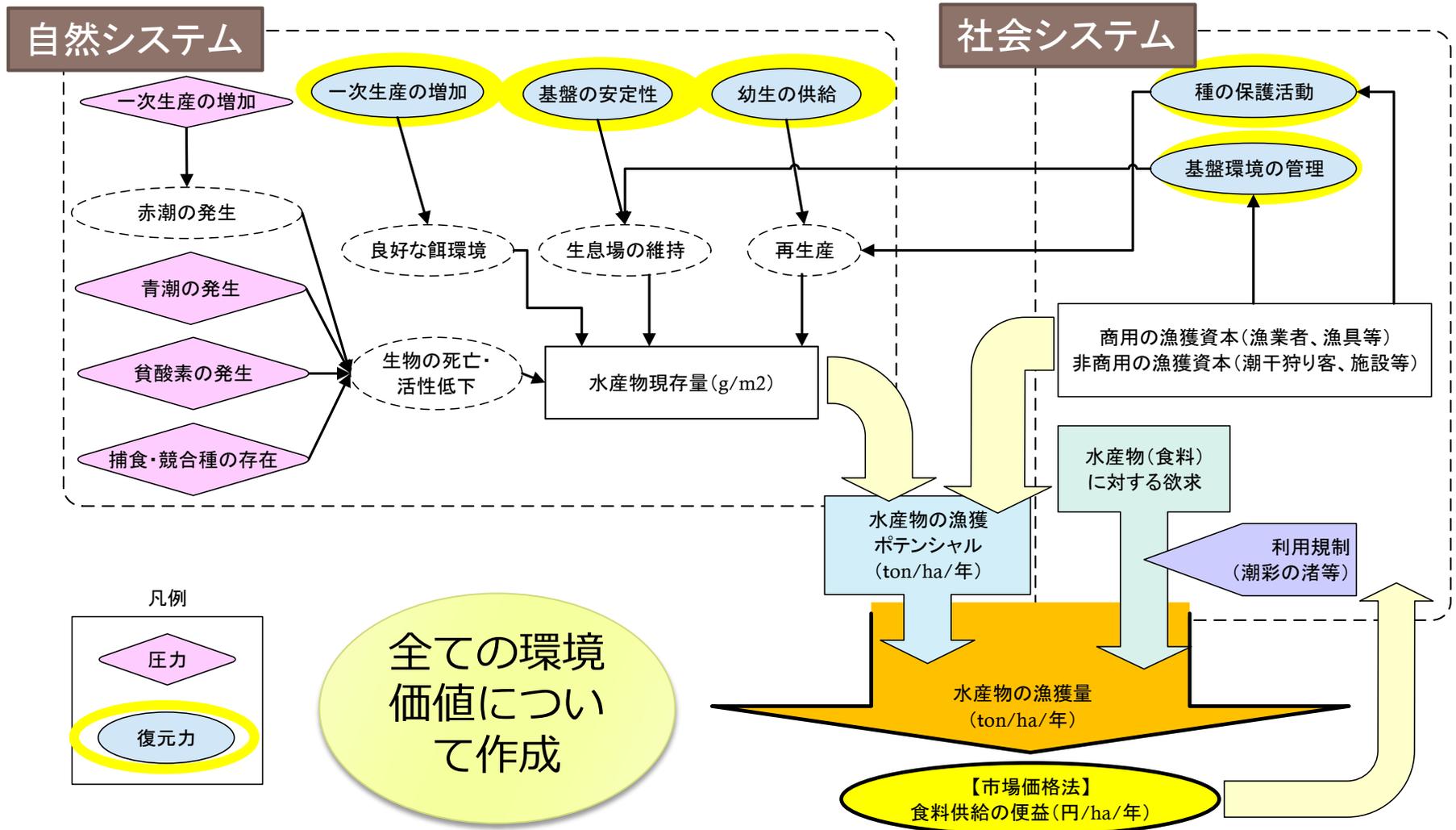
- 自然干潟
- 泥干潟
- 岸沖方向に50-100m



- ・ 自然干潟
- ・ 砂干潟
- ・ 干潟は沖合方向に約1km

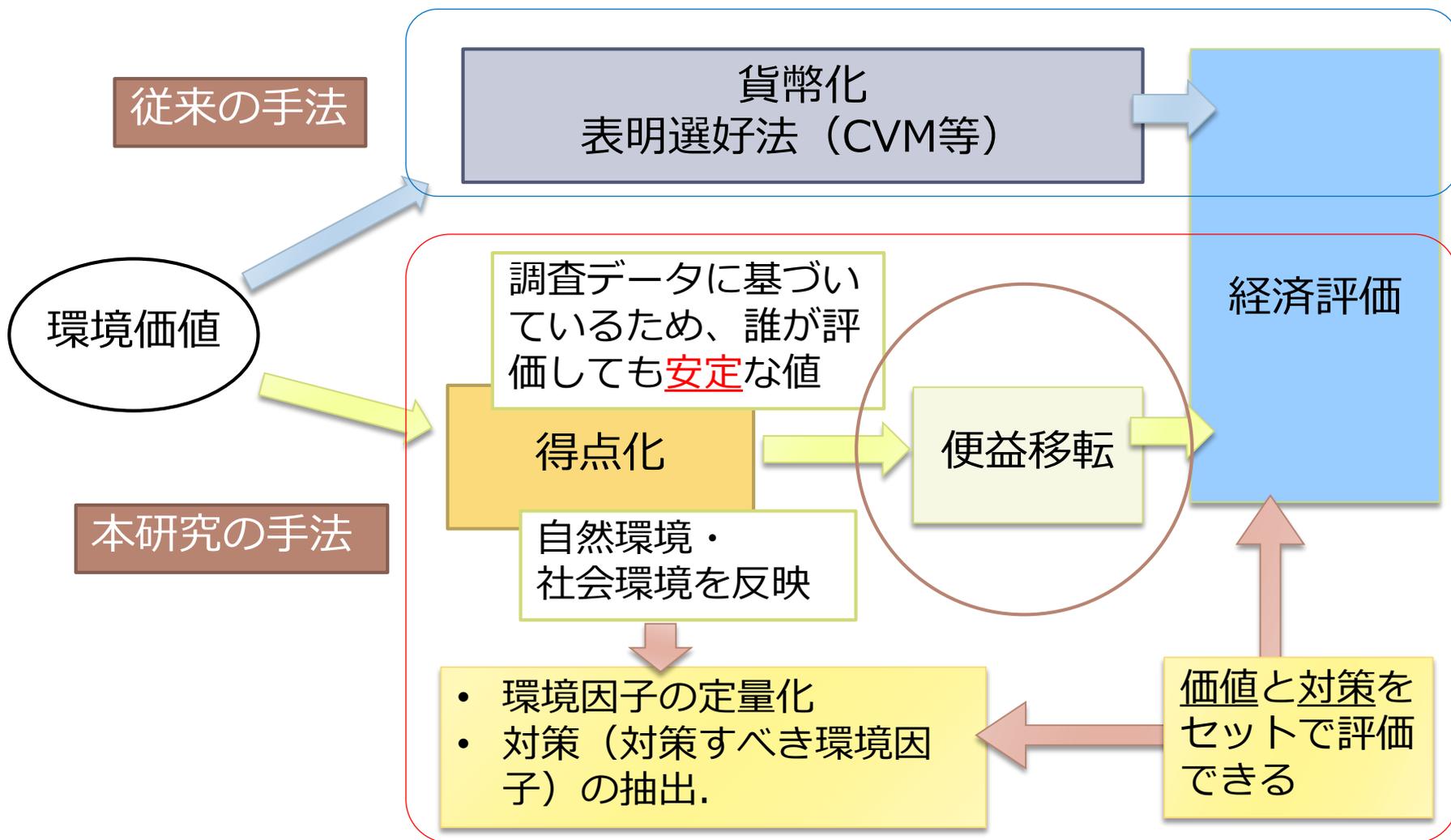


自然システムや社会システムの影響も評価される



PR指標	良好な状態の定義	PR指標の状態	値
貧酸素の発生	夏季に貧酸素が発生しない状態	夏季の最低DO<2mg/L	-1.0
		夏季の最低DO>6mg/L	+1.0
一次生産の増大	餌が豊富にある状態	年平均Chla<0μg/L	-1.0
		年平均Chla<3μg/L	±0.0
		年平均Chla<20μg/L	+1.0
基盤の安定性	地盤高が大きく変化するような侵食や堆積、圧密沈下等がなく安定している状態	基盤が安定している	+0.5
		基盤が安定していない	-0.5
青潮の発生	青潮の発生およびその影響が無い状態	青潮の影響が確認されていない	+0.5
		青潮の影響が確認されている	-0.5
幼生の供給源	近隣（同一湾内）に幼生の供給源となる自然干潟又は造成干潟が存在する状態	近隣に幼生の供給源となり得る浅場が存在する	+0.5
		近隣に幼生の供給源となり得る浅場が存在しない	-0.5

PR指標	良好な状態の定義	PR指標の状態	値
捕食・競合種の存在	貴重種や水産有用種等に対する捕食・競合種が確認されていない状態	捕食・競合種が確認されていない	+0.5
		捕食・競合種が確認されており、対策が講じられている	±0.0
		捕食・競合種が確認されており、対策が講じられていない	-0.5
種の保護活動	貴重種や水産有用種等の種を保護するための活動や捕獲規制等が行われている状態	複数の種に対しての保護活動が行われている	+0.5
		特定の種に対しての保護活動が行われている	±0.0
		保護活動は行われていない	-0.5
基盤環境の管理	養浜・盛土等による砂の補給、耕耘・均し等の基盤整備がなされている状態	基盤の管理を実施している	+0.5
		基盤の管理を実施していない	-0.5



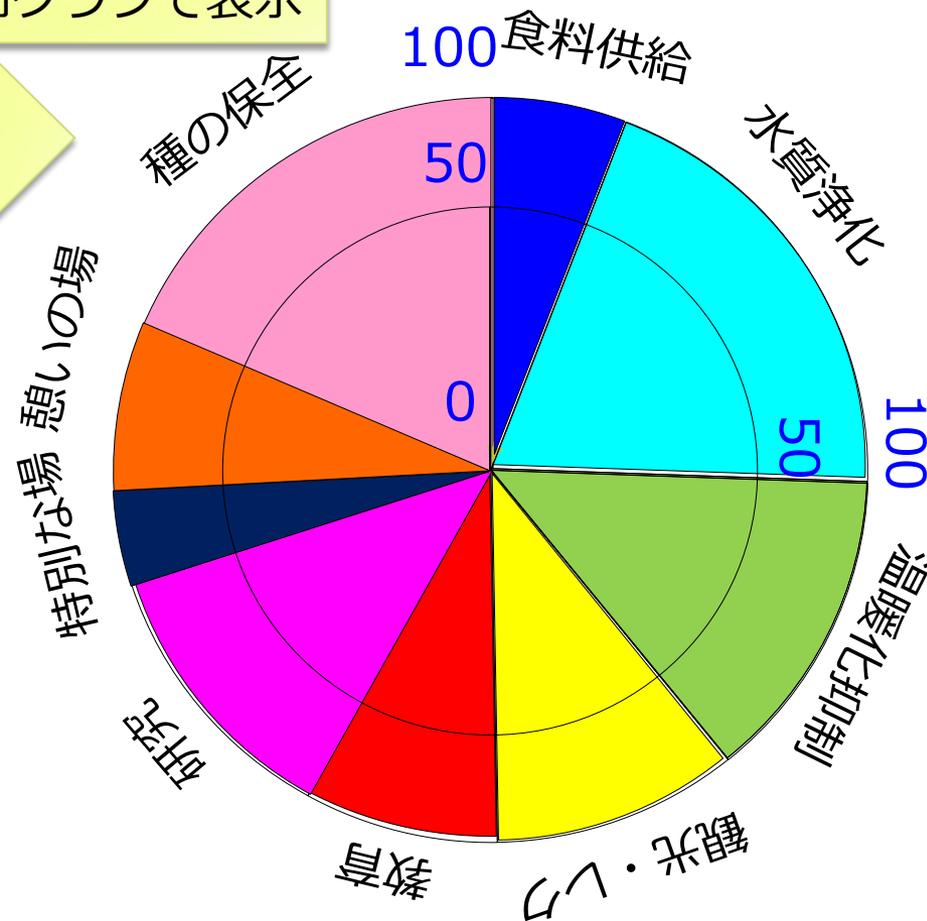
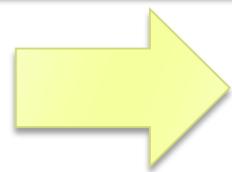
- ▶ 複数の環境価値を、簡便に評価でき、安定かつ数量に反応した結果を得やすい表明選好法を提案する。

比較評価法

「得点が100点の状態」の経済評価額の算出

環境価値	経済評価額 (万円/ha/年)
食料供給	1,200
水質浄化	4,100
温暖化抑制	2,810
観光・レク	2,010
教育	1,730
研究	2,450
特別な場	840
憩いの場	1,490
種の保全	3,920

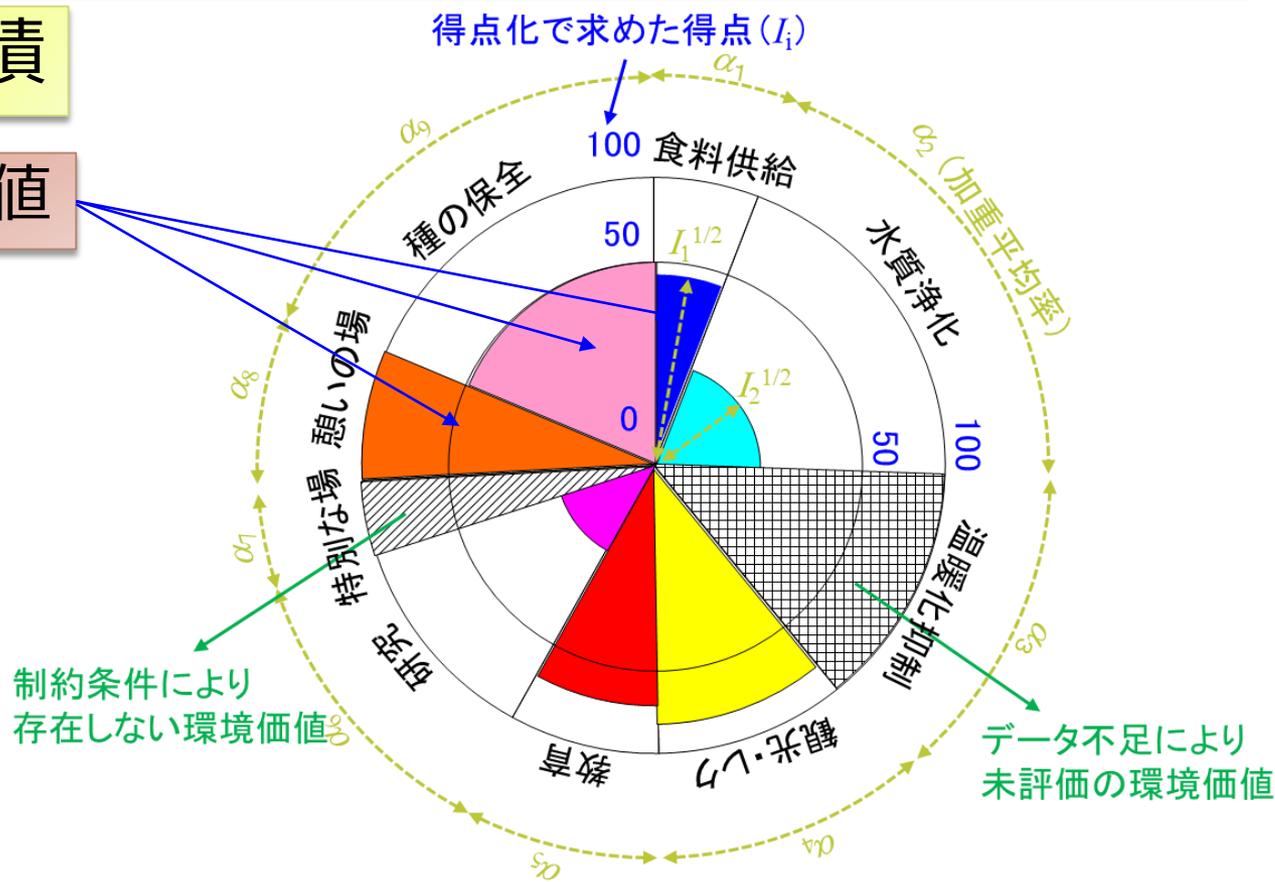
重みを円グラフで表示



環境価値 = 100点の状態の経済評価額 × 得点 / 100

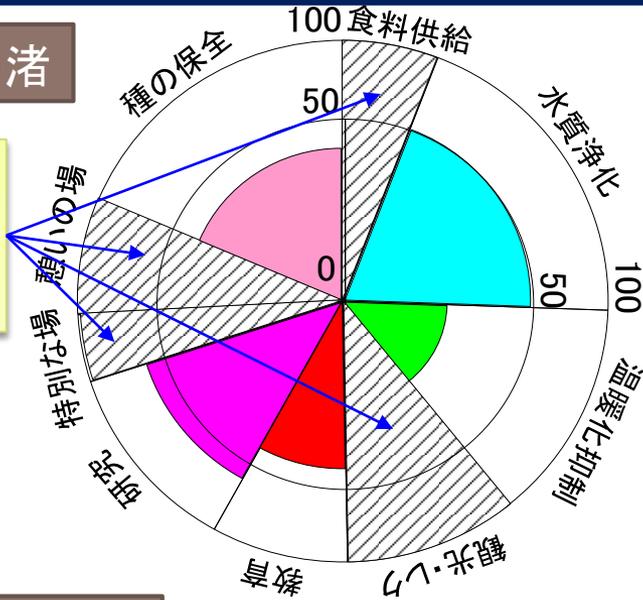
= 面積

色塗り部分が価値



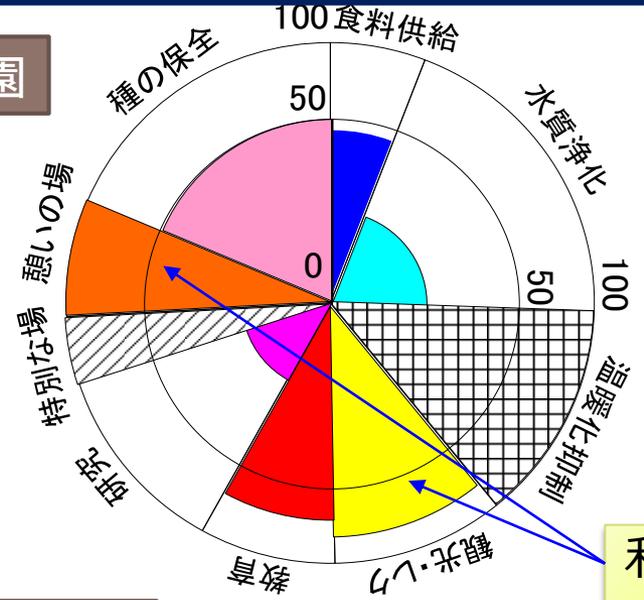
潮彩の渚

利用の
制約が
多い



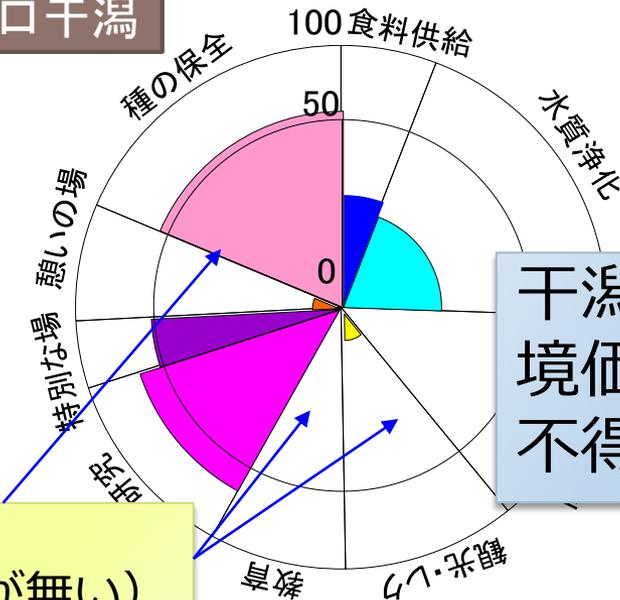
海の公園

利用型



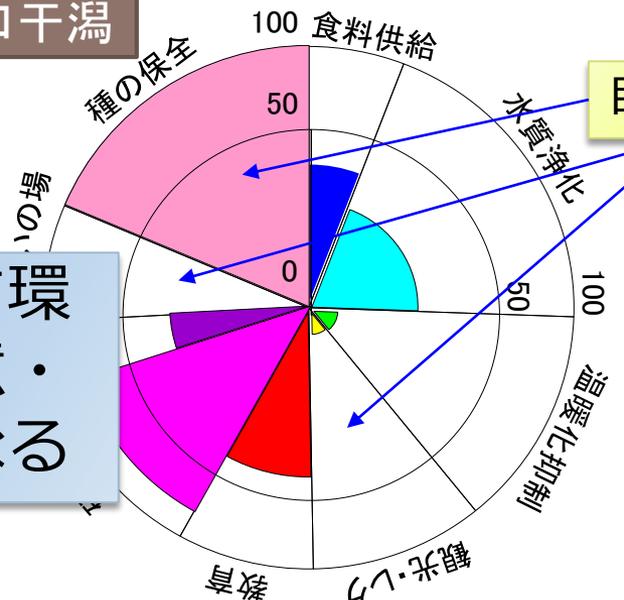
多摩川河口干潟

自然型
(利用が無い)

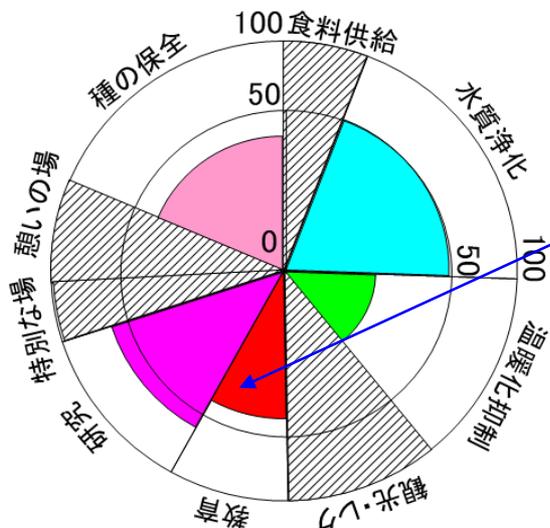


小櫃川河口干潟

自然型



干潟によって環境価値の得意・不得意が異なる

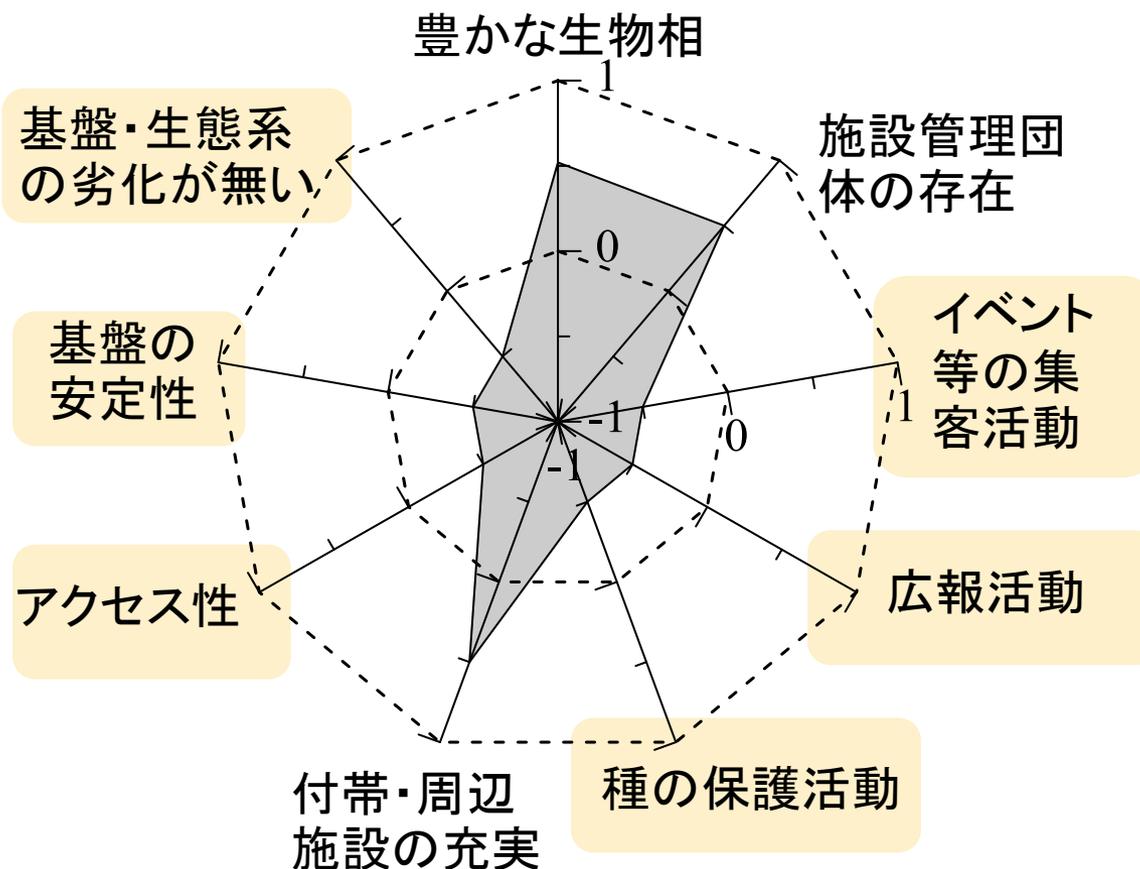


利用の制約がありサービスが限定されている場なので、「環境教育」はもう少し頑張りたい



管理ポイントは何だろう？

サービス	得点/持続可能性指数			
	潮彩の渚	海の公園	多摩川河口干潟	小櫃川河口干潟
食料供給	-	82.7/ -23.7	22.3/ 1.0	38.0/ 6.5
観光, レク	-	78.7/ -0.6	0.9/ -0.1	0.7/ 0.1
環境教育	40.4/ 0.0	67.2/ 0.0	0.0/ 0.0	39.4/ 0.0
研究	64.7/ 15.0	14.5/ 0.3	75.1/21.5	70.8/27.3
昔からの特別な場	-	-	100/ 3.3	53.3/ 6.6
日々の憩いの場	-	100/ 9.9	1.2/ 0.0	0.1/ 0.0
水質浄化	52.1/ -4.5	12.0/ 2.9	40.2/ 8.0	17.6/ 3.1
温暖化抑制	15.5/ -13.6	-	0.0/ 0.0	0.83/ 0.0
種の保全	47.4/ 2.9	41.0/ 7.6	53.1/ 3.5	100/34.3



本手法の強み

- 本手法では、それぞれの環境価値の経済評価額を提示することができる。しかし、本手法の売りは、環境価値の経済評価額を出すことだけではなく、
 - ⑩ 価値や持続可能性を高めたい場合の**対策の留意点（管理ポイント）**を抽出することができること
 - ⑩ 環境価値のバランスを円グラフで「見える化」することができること

環境価値と管理

- 環境価値（生態系サービス）はポテンシャルだけでは価値は半減。利用してはじめて価値は高まる。
- 自然から恵み（ポテンシャル）を持続的に享受する工夫および管理が重要。

これこそ、土木！
技術力！

みなとまちづくり分野



背景・問題点

- ・人口減少社会下において、沿岸域における活性化は地域再生の核。一方、みなとまちにおける水辺等の地域資源は当該地域における貴重な財産にも関わらず、現状では活用が不十分。交流人口増大のためにも、沿岸域における地域資源を活用した地域振興方策が必要。
- ・港湾における中長期政策「PORTO2030」(2018.7)において「クルーズ」「港の空間形成」が掲げられたところ。

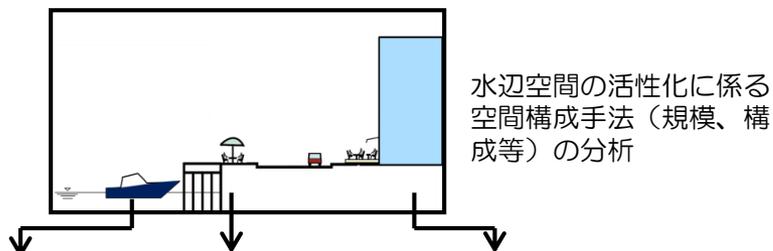
港湾の中長期政策「port2030」(2018.7)

4. ブランド価値を生む空間形成

- 民間資金を活用したマリーナ開発や長期の水域利用と一体となった臨海部空間の再開発、水上交通による回遊性の強化
- 様々な観光資源の発掘・磨き上げ、快適な観光の提供等を通じた訪日外国人旅行客の満足度向上、地域への経済効果の最大化



沿岸域における貴重な地域資源である①水辺空間の活性化、②海からみた地域資源の連携・ネットワーク化方策に関する研究を行う。



水面の活用



護岸上を活用



倉庫の再生

①水辺空間の活性化



船から見たシークエンス景観の分析

②海からみた地域資源の連携・ネットワーク化方策