

藻場吸収源デジタルツイン構築による 深海貯留量の推定



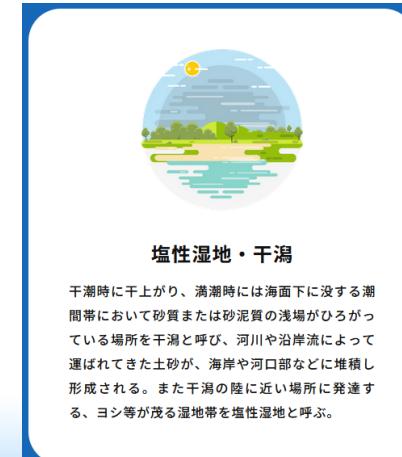
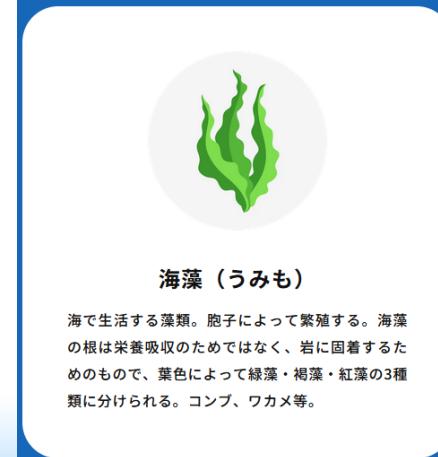
五十嵐弘道
海洋研究開発機構付加価値情報創生部門
地球情報科学技術センター

ブルーカーボンとは

- 沿岸・海洋生態系が光合成によりCO₂を取り込み、その後海底や深海に蓄積される炭素のこと
- ブルーカーボンの主要な吸収源としては、藻場(海草・海藻)や塩性湿地・干潟、マングローブ林があげられ、これらは「ブルーカーボン生態系」と呼ばれています。

環境省webページより

<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/blue-carbon-jp/about.html>

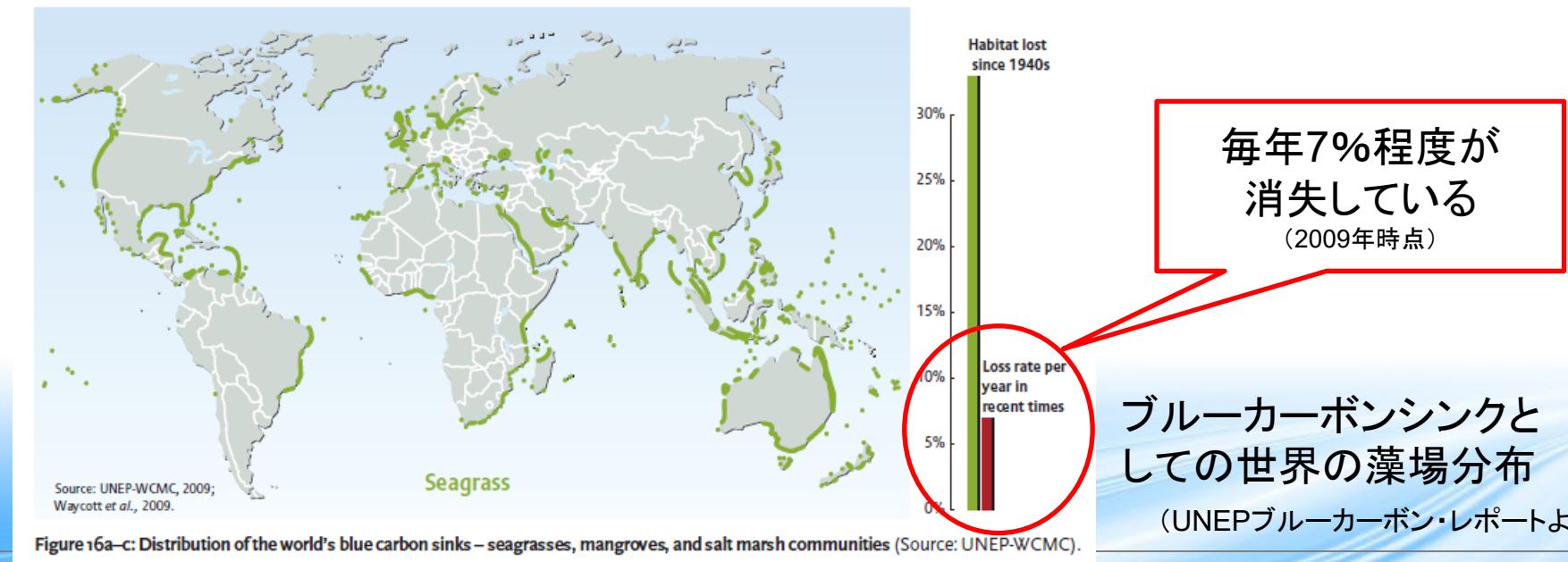


浅海生態系別のCO₂吸収量は、面積が広いことなどから海草・海藻藻場が大半(60%以上)を占める。

茂木ほか(2024より)

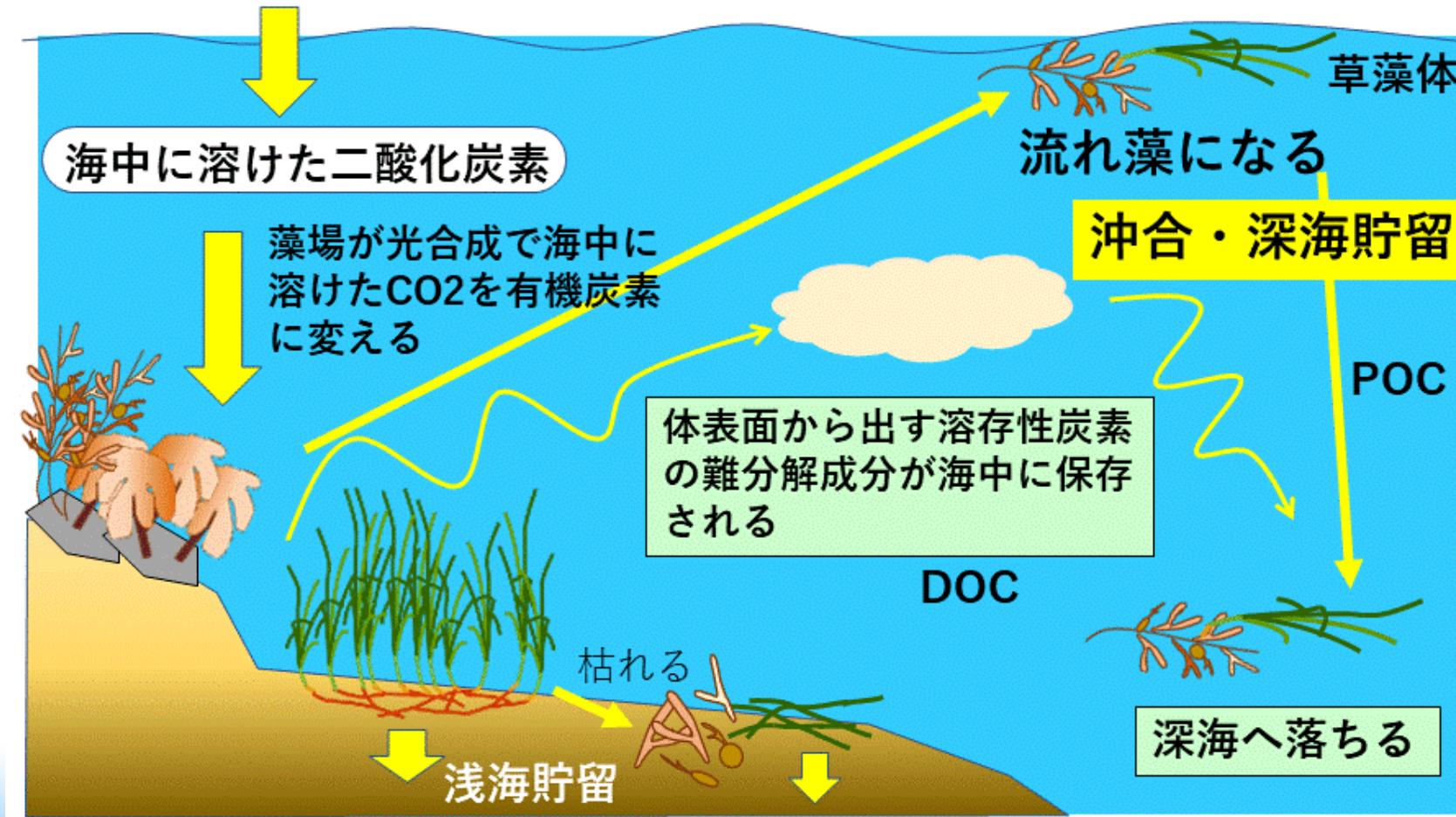
背景: ブルーカーボン吸収源としての沿岸藻場

- 沿岸浅海域の藻場は有機炭素を海底に貯留するブルーカーボンの最大の吸収源の一つ
- 藻場は温暖化の影響を受けやすく地球上で最も消失率の高い生態系
広域の沿岸浅海域を持つ日本においては特に深刻 (UNEPブルーカーボンレポート)
→炭素貯留機能維持という観点から消失を食い止めるための施策が急務
- 藻場の分布状態や外洋への流出から深海への輸送・貯留プロセスは未解明
温暖化の進行に伴う藻場の現況把握と将来予測の情報創生も急務



背景: ブルーカーボン吸収源としての沿岸藻場

現状と課題: 藻場生産物の沖合・深海での貯留



「藻場生産物の沖合・
深海貯留」概念図

浅海域における貯留については多くの既存知見が得られているのに対して、沖合から深海への貯留プロセスについては未解明な部分が多い。

貯留の計算

- インベントリ: 国レベルでの温室効果ガス吸排出量
- 2024年4月に国連へ報告した我が国の温室効果ガスインベントリでは、世界で初めて、海草藻場・海藻藻場による吸収量を合わせて算定・報告しました。(環境省HPより)
- 「我が国のインベントリにおける藻場(海草・海藻)の算定方法について」

https://www.env.go.jp/earth/ondanka/blue-carbon-jp/pdf/initiatives/02_inventory.pdf

海草・海藻藻場による炭素貯留として、**堆積貯留・難分解貯留・深海貯留・RDOC貯留**の4プロセスを考慮している

$$\text{藻場タイプ } j \text{ の吸収係数 (gCO}_2/\text{m}^2/\text{year}) = \frac{\text{CO}_2 \text{ 隔離量} \times \text{残存率の総和}}{\text{最大現存量 (乾燥重量)}} \times C_{cont,j} \times (44/12) \times E_j$$

↓

$$(P/B_{max})_j \times B_{max} \times r_{2j}$$
 : 堆積貯留
+ $(P/B_{max})_j \times B_{max} \times r_{3j}$: 深海貯留
+ $(P/B_{max})_j \times B_{max} \times r_{1j} \times (1 - r_{2j} - r_{3j})$: 難分解貯留
+ $B_{max} \times r_{4j}$: RDOC貯留

↓

$$= B_{max} \times \frac{[(P/B_{max})_j \times \{r_{1j} + (r_{2j} + r_{3j})(1 - r_{1j})\} + r_{4j}]}{\text{CO}_2 \text{ 隔離量} \times \text{残存率の総和のうち、現存量以外の項}}$$

↓

$$\text{吸収係数} = \text{吸収ポテンシャル} \times B_{max} \times E_j$$

「海草・海藻藻場のCO₂貯留量算定に向けたガイドブック」(国立研究開発法人 水産研究・教育機構)より

背景: ブルーカーボン吸収源としての沿岸藻場

現状と課題

海洋域へのブルーカーボン(BC)隔離量に関する現状の見積

BC生態系からの移出形態	大型藻類	海草藻場	単位
ハビタット内堆積物への貯留	6		80
溶存有機炭素としての移出			
混合層以深への移送	117		11
粒状有機炭素としての移出			
陸棚域堆積物への貯留	14		13
深層への沈降隔離	35		
出典	Krause-Jensen & Duarte (2016)	Duarte & Krause-Jensen (2017)	Tg C/yr

浅海域におけるブルーカーボン隔離量が多い海草藻場(アマモなど)に対して、沖合・深海での貯留量が多いとされる大型藻類(コンブなど)については不明な部分が多い。

【温暖化緩和施策に向けた海洋におけるCO₂吸収・貯留プロセスの理解が急務】

沖合・深海貯留プロセスが未解明で定量化ができないことから、管理施策につながる情報創生ができていない

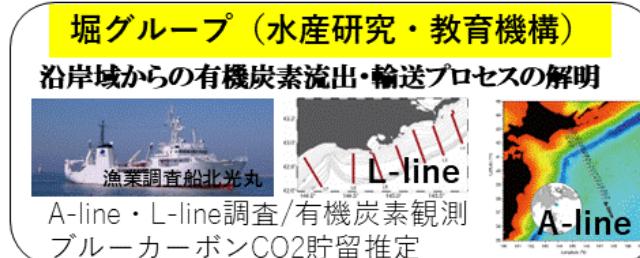
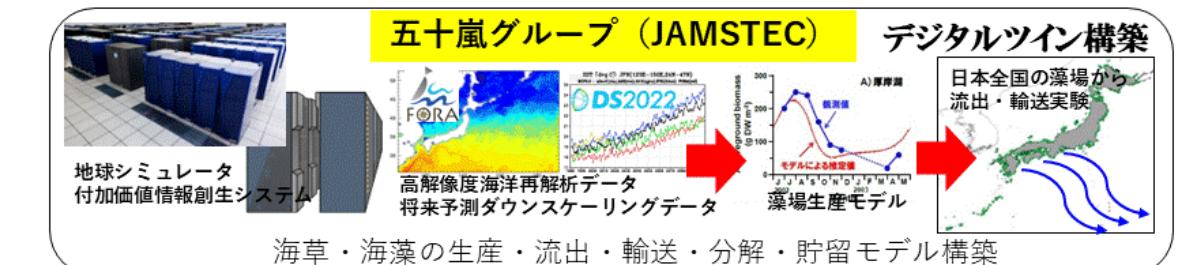
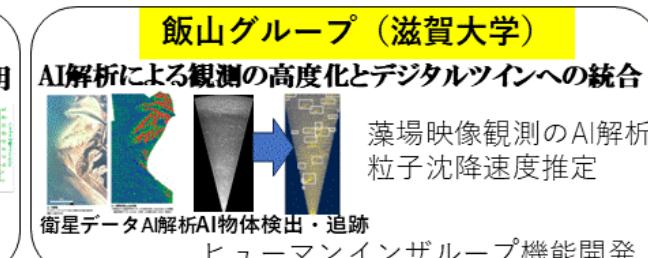
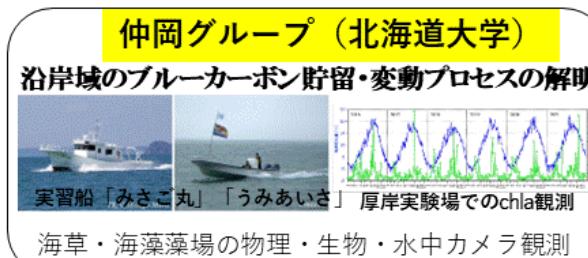
→藻場の生産・流出から輸送・貯留に至るプロセスを表現できるモデルを構築して炭素貯留量の現況を定量的に評価し、さらに将来予測情報を創出する必要がある。

CREST 海洋とCO2の関係性解明から拓く海のポテンシャル： 「海洋貯留による藻場吸収源デジタルツインの構築」

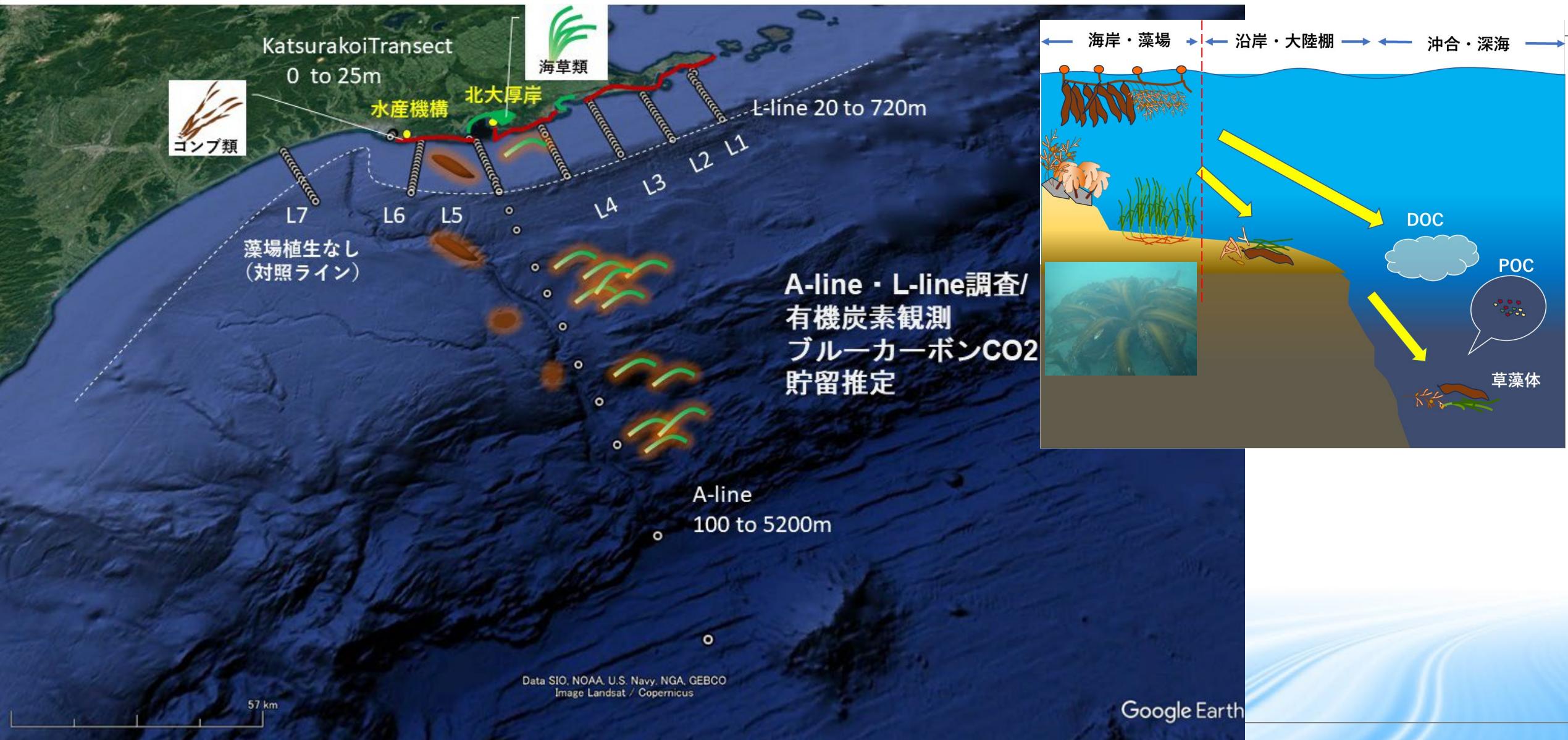
CREST

日本沿岸における海草・海藻藻場を対象として、藻場の生産及び流出観測、船舶からの採水・採泥調査や分解実験を通じた実測と海洋モデルシミュレーションを統合化して**藻場生産物の流出、深海への輸送、貯留までのプロセスを定量的に推定する「藻場吸収源デジタルツイン」を開発**し、日本国内における藻場から外洋の貯留庫への炭素移行量の定量的把握や気候変動に伴う将来予測情報を創出することにより、環境施策の推進に資するイノベーションを創発する。

- ・藻場生産物の流出・輸送・貯留プロセスの解明
- ・環境施策に資する藻場からのブルーカーボン貯留量の現況把握・将来予測情報の創出

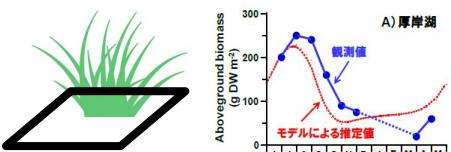


研究対象地域: 北海道東部海域



デジタルツインの全体像

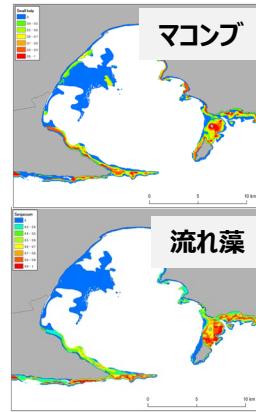
藻場生産モデル



(gW/m²)
1グリッド内での生
産量

【入力値】海面水温、日射量、
栄養塩濃度、生息水深
【出力値】各グリッドにおける
単位面積当たり生産量

藻場分布モデル



【入力値】SDM入力値
【出力値】グリッドごとの藻場密度

生産モデルの出力値を掛け
合わせることでグリッドごとの
生産量を推定する

$$(gW/m^2) * m^2 * 密度 = gW$$

藻場流出モデル



映像データ
からのアマモ検出



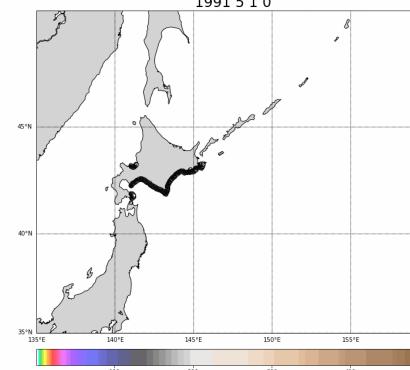
流れ藻
分布調査

各グリッドで生産された海草・海藻
の流出割合・タイミングを推定し、
輸送モデルに渡す

$$gW * 流出率 = 流出量$$

藻場輸送モデル

3次元粒子追跡モデルによりア
マモ・コンブの輸送を表現する



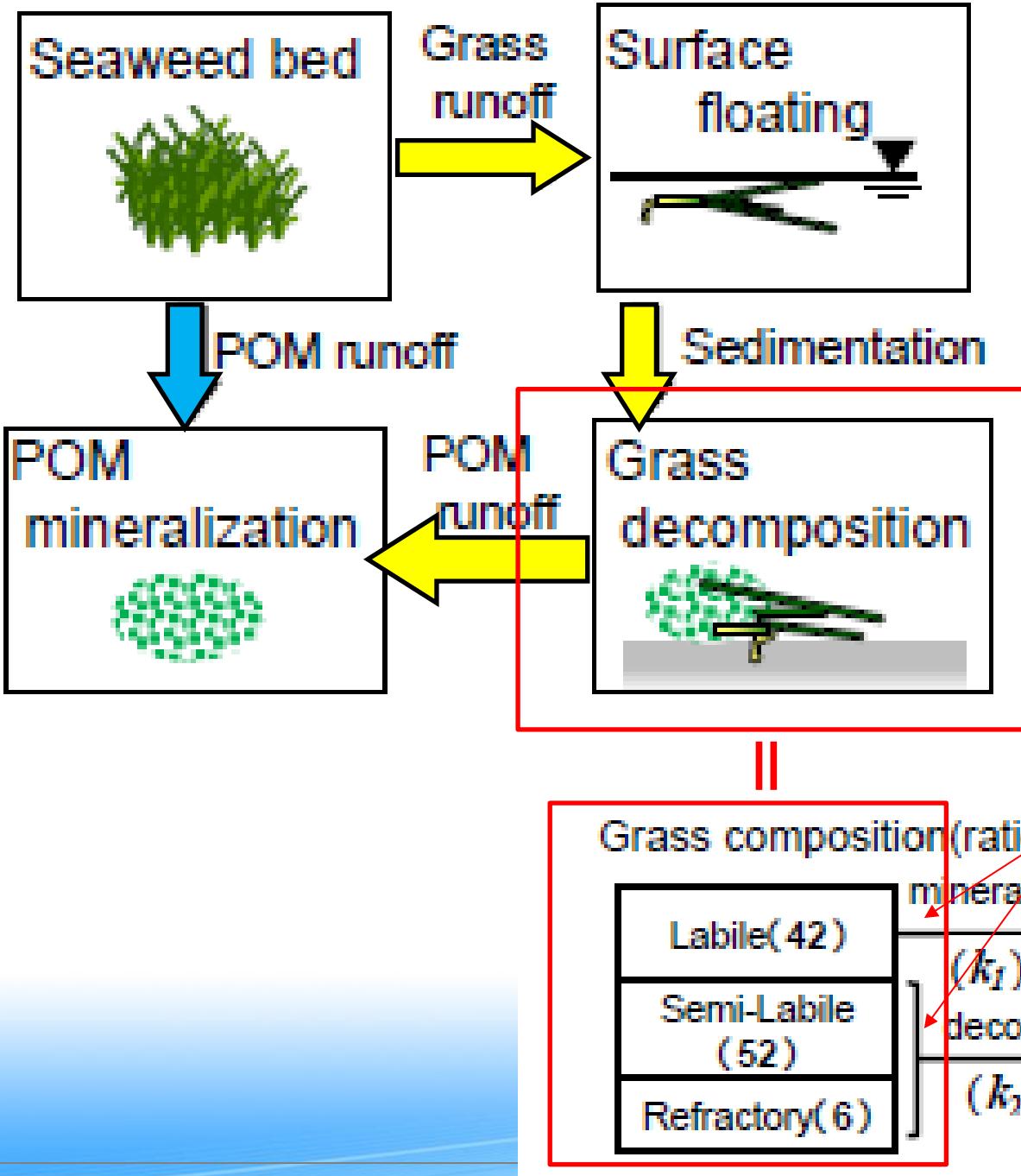
細粒化プロセス・分解プロセスを
導入して、草体・POC・DIC別の
3次元分布情報を創出
←分解実験を実施しその結果を
モデルのパラメータとして使用

草体・POC・DICそれぞれのgW

貯留モデル

輸送モデル結果から炭素
貯留量を推定するモデル
を構築

$$gW \rightarrow gCW$$

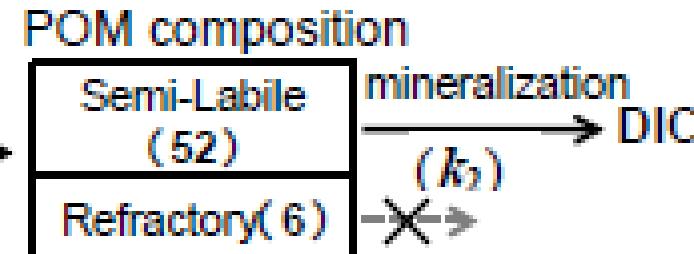


杉松他(2015) 瀬戸内海アマモ輸送モデル

- ・アマモは一定時間表層を漂流したのち沈降を開始。
- ・海底に着底後懸濁態有機物へ分解する
←浮遊期間・浮遊後の沈降速度は水槽実験
漂流期間は25.7日、沈降速度は21.1mm/s

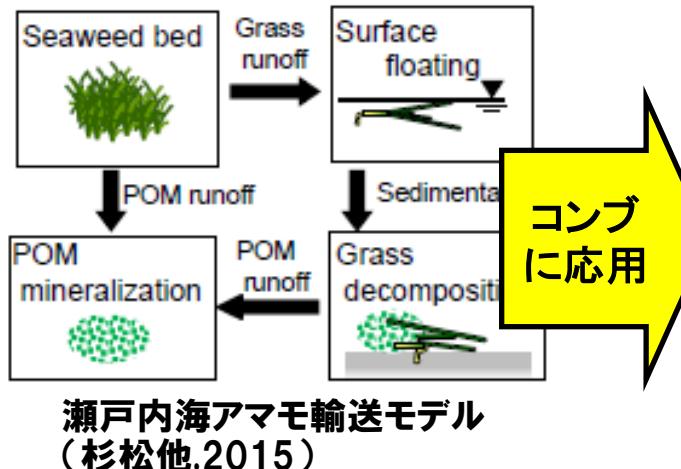
海底に着底したアマモ草体は

- ・懸濁態有機物質(POM)へ細分化
- ・溶存態無機物(DIC)へ無機化されて海中へ放出

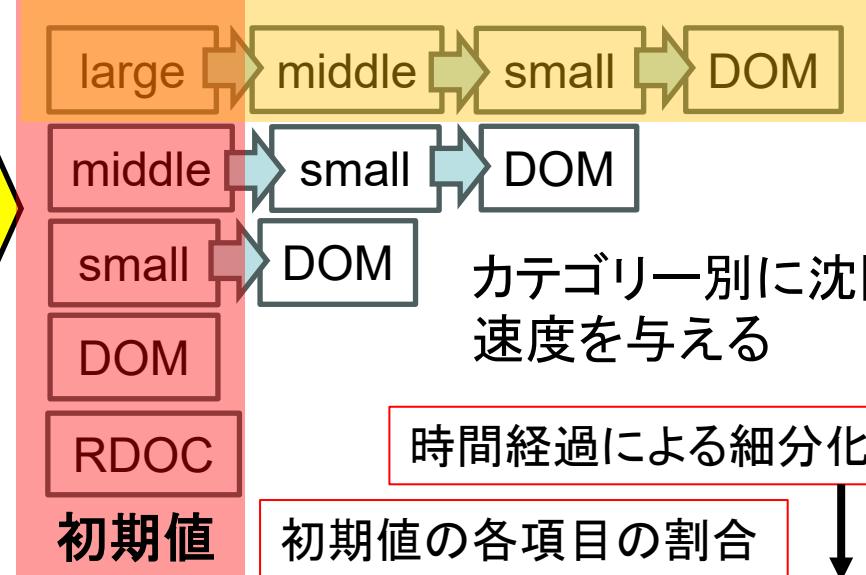


コンブ輸送モデルの開発

- ・コンブはnegatively buoyant
- ・形態によって沈降速度が異なる
- ・細粒化も分解も速い！



細粒化プロセス



カテゴリー別に沈降速度を与える

時間経過による細分化速度

初期値の各項目の割合

分解実験で数値化

分解プロセス

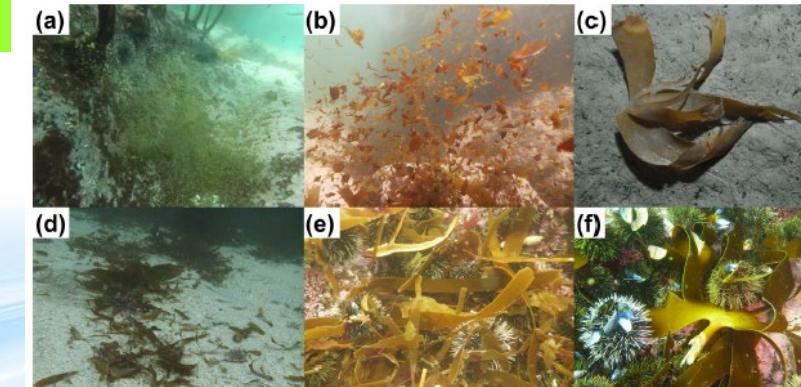
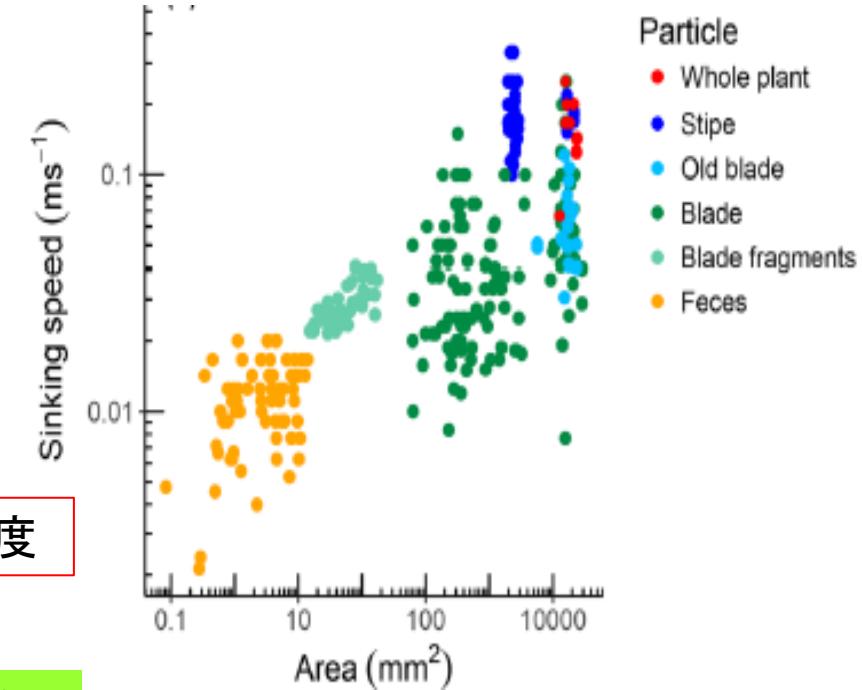
Gモデル(Westrich and Berner, 1984)
有機物含量(炭素量)の時間変化を表現する。

$$G(t) = G_1[\exp(-k_1 t)] + G_2[\exp(-k_2 t)] + G_{NR}$$

分解速度係数(k_1, k_2)

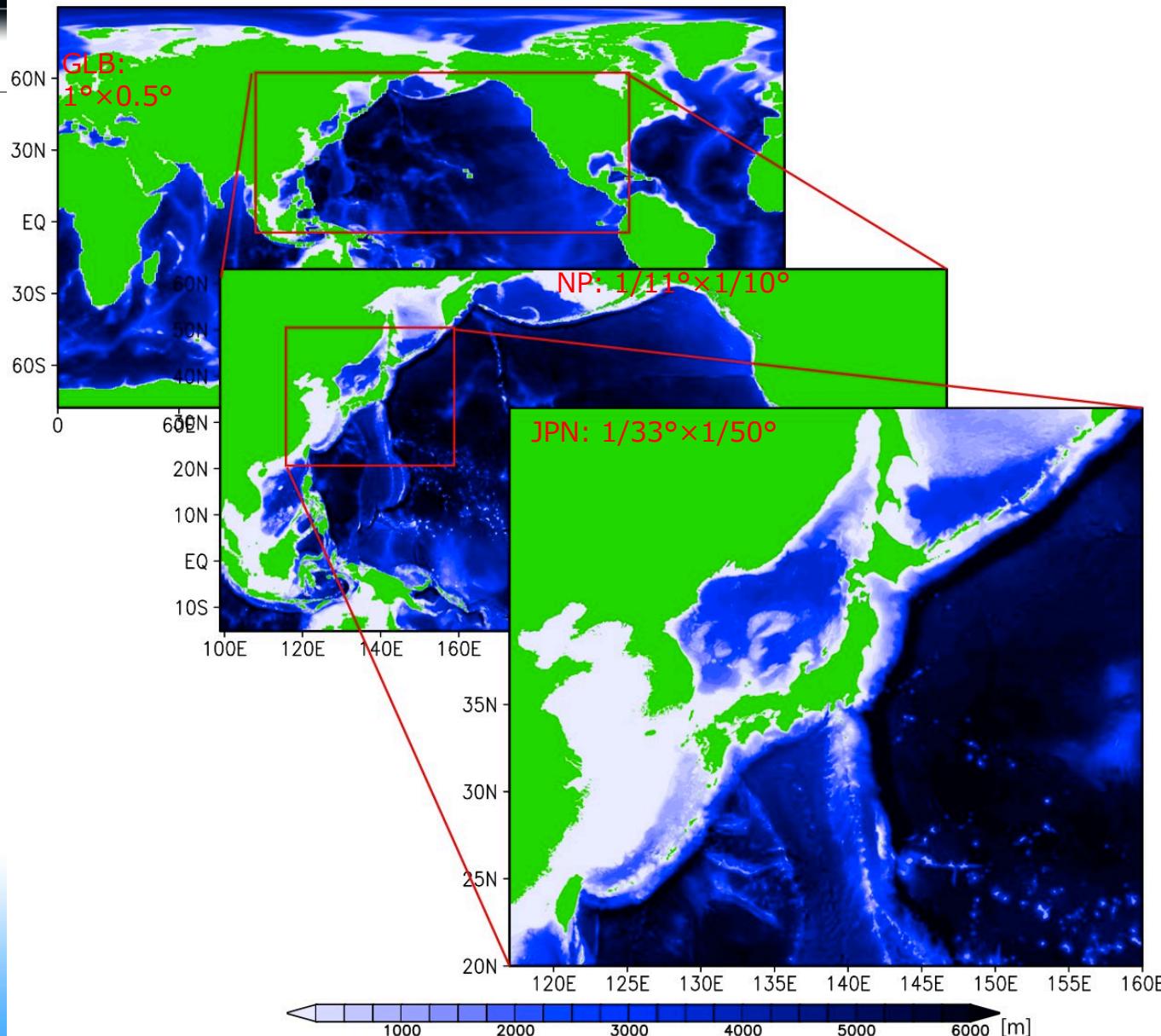


瀬戸内海アマモ輸送モデル(杉松他,2015)



Wernberg and Filbee-Dexter (2018)

輸送モデルを駆動する海洋モデル



	JPN (日本近海)
目的	2km将来予測
基盤海洋モデル コード	MRI.COMv4.6 (Tsujino et al. 2017)
領域	117E-160E, 20N-52N
水平解像度	1/33 x 1/50
鉛直層	60層 (表層2m～最下層700m)
各種過程	潮汐、海水、河川流入
参考論文	Sakamoto et al. (2019)

気象研究所で開発された海洋モデル

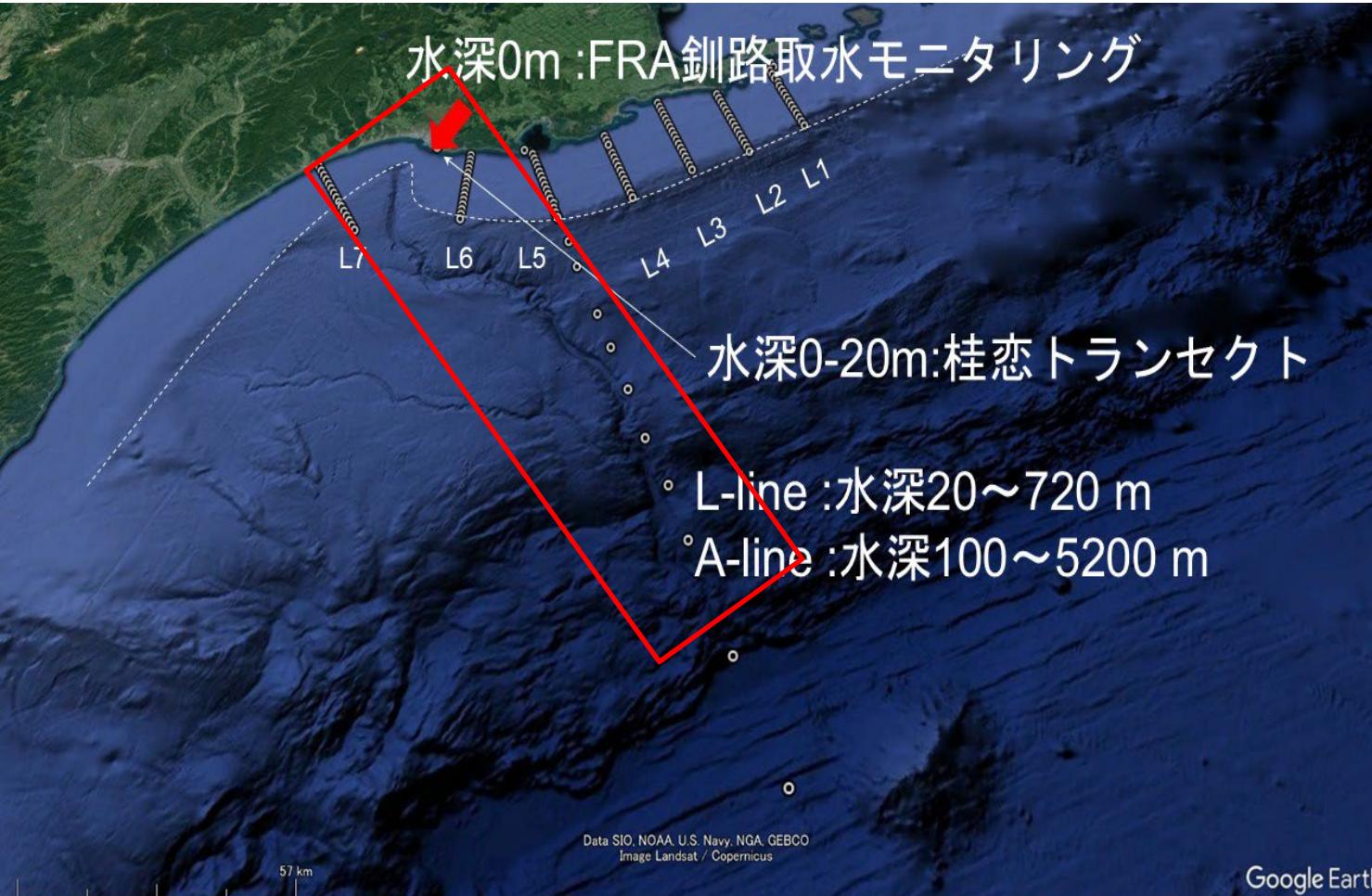
公開版データセット (FORP version4)

Nishikawa et al.(2023)

Forcing	Historical	RCP2.6	RCP8.5
MIROC5	1991-2005	2086-2100	2041-2055, 2086-2100
MRI-CGCM3	1991-2005	2086-2100	2041-2055, 2086-2100
JRA55-do	1991-2005, 2006-2018		

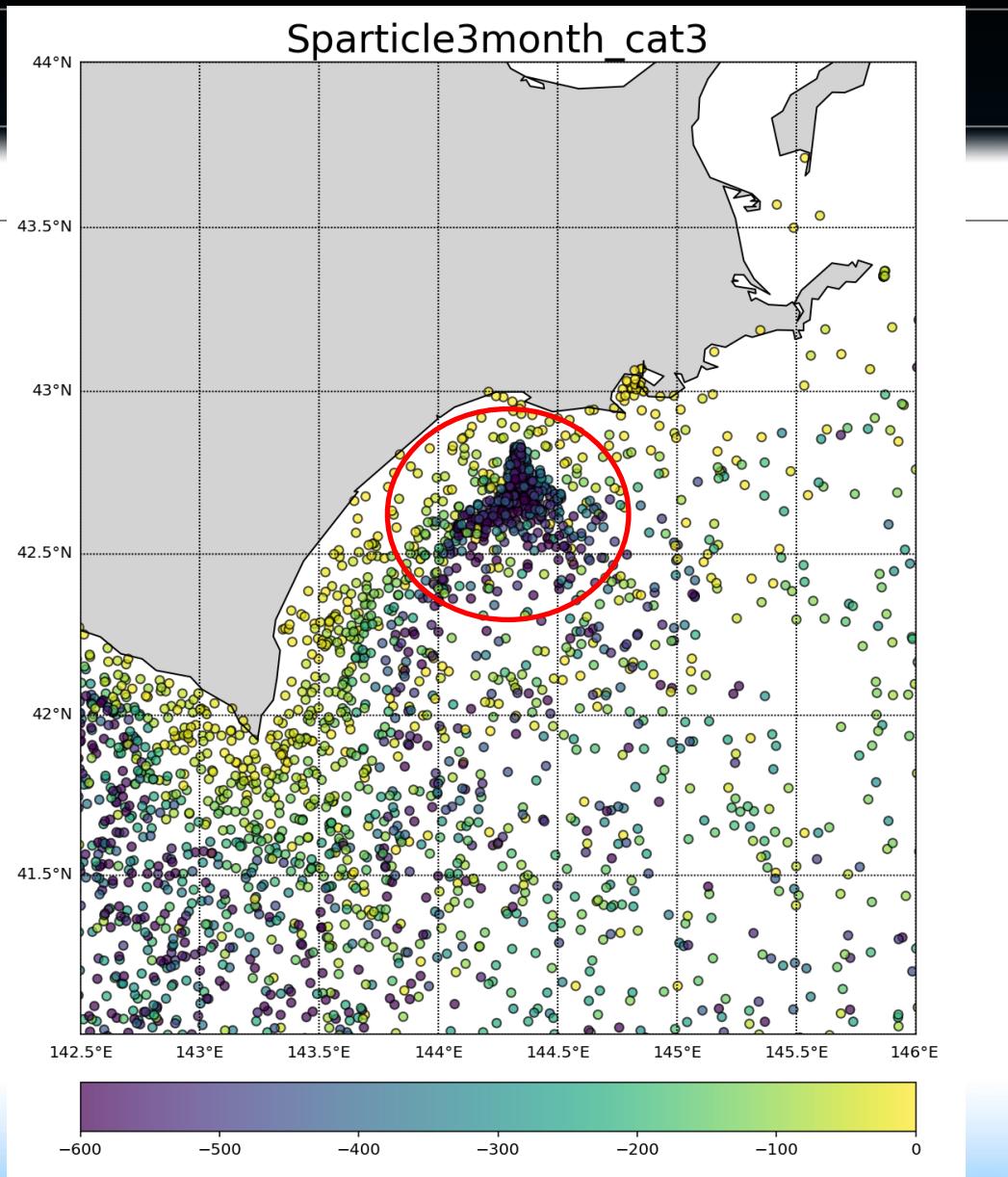
実験対象領域と実験設定

対象領域: 北海道東部海域

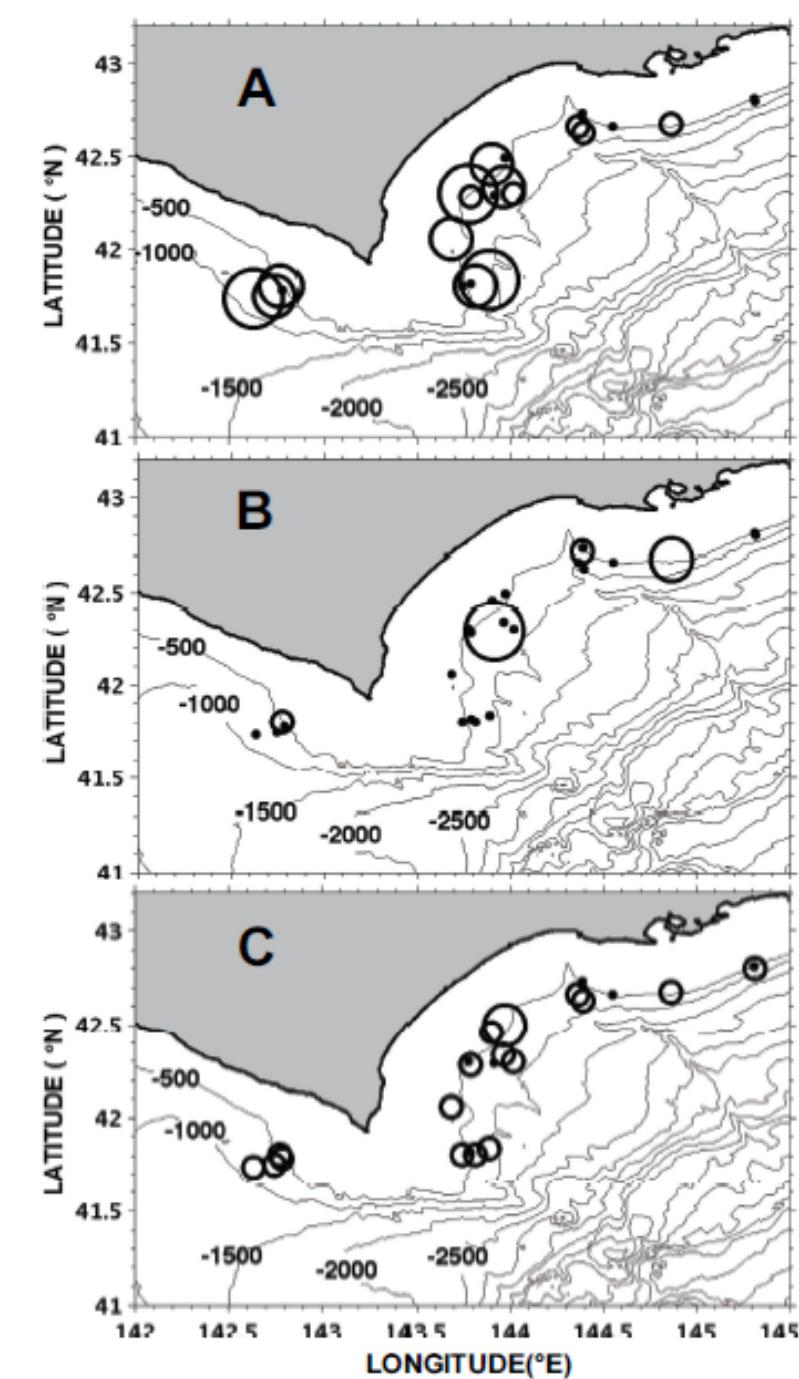


釧路沖の海底谷に注目

- 非静力学海洋モデルKinaco (Matsumura and Hasumi, 2008) の粒子追跡パッケージを使用
- FORP ver.4 historical runの 1991年 daily dataをforcing dataとして使用した。
- 1991年3-9月を対象とした実験を実施して粒子の移動を追跡した。



流出3か月後の粒子位置(拡大図)



海産大型植物の堆積密度分布

ホンダワラ類

コンブ類

海草

國分・小松(2015)

まとめ

- ・日本国内における藻場から外洋の貯留庫への炭素移行量を定量的に把握するための藻場デジタルツインを開発している。
- ・3次元粒子追跡モデルを日本周辺将来予測データFORPに適用してコンブの輸送を表現する。
- ・コンブの細粒化・分解の進行に伴い、海洋上層で早期に拡散するものと海底谷等に速やかにトラップされるものとに二分化することを示唆する結果を得た。
- ・分解実験等により得られたパラメータや境界条件を整備して、実験数を増やし炭素移動の定量化を目指すとともに海草類へ適用するためのモデル改良を行う。



ありがとうございました。