


プロジェクト概要	<p>【プロジェクト概要】</p> <p>対象海域では、昭和 59 年から令和 2 年にかけて浚渫土を利用した 4 か所の人工干潟（百島、灘、海老、高尾）が中国地方整備局により造成された（百島：平成元年 6 月、灘：平成 8 年 9 月、海老：平成元年 10 月、高尾：令和 2 年 11 月）。これらの干潟は、浦島漁業協同組合に引き渡しが行われ、維持・管理を浦島漁業協同組合が担うとともに、アサリ等の水産資源を市場へ供給してきた。</p> <p>しかしながら、近年のアサリや刺し網漁の漁獲減を受け、尾道市と連携し、水産資源の回復や藻場の再生およびそれによって得られるブルーカーボン効果を得ることを目的に、2013 年より流出した砂のリサイクル（整地作業）や、干潟の生産性向上のための耕耘、藻場の繁茂状況の確認等を行っている。これらの活動を通して、干潟の代表種であるアサリの生産性の回復や、各干潟の造成後に造成した基盤に移植もしくは自然に着生したアマモ場の継続的な成育を確認している。</p> <p>また、干潟環境と水産業の普及啓発を目的に、浦崎小学校および浦崎中学校による環境学習の場として海老干潟および灘干潟の一部海域を提供するとともに、活動の補助を行っている。</p> <p>これらの活動は、水産庁の水産多面的機能発揮対策交付金を活用するとともに、尾道市が水産振興の一環として取り組んでいる。しかしながら、昨今の高齢化に伴う人員不足等の現状もあり、干潟・藻場の維持管理活動を継続・拡大するうえでの資金調達が必要であることから、J ブルークレジットの申請を行う次第である。</p> <p>今後、各干潟におけるアマモ場の拡大を目指した移植活動や、干潟の生産性向上を目指した食害や漂砂対策、干潟・藻場のブルーカーボン効果等を把握するための各種調査、普及啓発のための環境学習・シンポジウム等を継続的に実施する予定であり、J ブルークレジットの売却益はこれらの活動に充てるものである。</p>
	<p>【申請対象期間に実施したプロジェクト概要】</p> <p>干潟・藻場のモニタリング 7 回（浦島漁協・尾道市）</p> <p>耕耘・整地作業 7 回（浦島漁協・尾道市）</p> <p>環境学習 9 回（浦島漁協・尾道市）</p> <p>干潟における施肥 1 回（浦島漁協・尾道市）</p> <p>※（ ）内は実施者</p>

		 <p>(2022 年 9 月 12 日 : 高尾干潟)</p> <p>写真 1 耕耘・整地作業の実施状況</p>
プロジェクト実施期間		2013 年 6 月 21 日 ～現在
クレジットの認証申請対象期間		2022 年 9 月 1 日～2023 年 8 月 31 日
方法論	① 対象生態系面積の算定方法※	<p>【対象とする生態系】</p> <p>■海草 □海藻 □マングローブ ■干潟</p> <p>【調査方法】</p> <p>① アマモ場</p> <p>2023 年 6 月 5 日に UAV による航空写真の撮影と潜水および音響測深機による現地調査を行った。その後、航空写真と現地調査結果を照らし合わせ、被度別のアマモの範囲を特定し、GIS 上でフリーハンドにより面積を計測した。</p> <p>② 干潟場</p> <p>PPK-UAV 写真測量 (SfM 解析, Pix4D) による地盤を計測し、0.5m ピッチで等深線図を作成したのち、+0.4m から +2.5m までの 0.5m ピッチの面積を GIS 上で計測した。ただし、+0.4m から +0.5m までは 0.1m ピッチでの面積計測とした。</p> <p>※詳細は別添 1 参照</p> <p>なお、面積のデータについては、中国地方整備局により調査が実施され、尾道市が提供を受けたものである。</p>
	② 吸収係数	<p>① アマモ場</p> <p>アマモ場における吸収係数は、可能な限り対象藻場の近隣海域（瀬戸内海）における研究事例を収集し、J ブルークレジット申</p>

請の手引き記載の算定式 2 により被度別の吸収係数を求めた。以下に詳細を示す。

a) P/B 比の設定

P/B 比については前回申請と同様の値を用いた。近隣海域（瀬戸内海）における文献を収集し、アマモ場における生産量および現存量を整理し、P/B 比を設定した。P/B 比を直接算定した事例は収集できず、繁茂期もしくは衰退期の平均的な生産量や現存量のデータのみしか得られなかったため、生産量については繁茂期を 120 日（およそ 4 月～7 月）、衰退期を 245 日と仮定し、生産量を推定した。また、繁茂期した調査データがない文献については、安芸灘における繁茂期と衰退期の現存量比（2 : 1）から、衰退期の現存量を推定し、前述の仮定のもと生産量を推定した。

この結果、瀬戸内海における繁茂期の現存量は、9～194g-dry/m²と幅があった。また、推定した P/B 比は現存量が低いアマモ場で高くなる傾向があり、5.6～16.7 と幅があった。そこで、最も保守的な値である 5.6 を本申請における P/B 比として設定した。

表 1 瀬戸内海における P/B 比に関する文献収集結果

	被度階級	湿重量 g-wet/m ²	乾燥重量 ¹⁾ g-dry/m ²	炭素量 ²⁾ g-C/m ²	年間純生産量 ³⁾ g-C/m ² /年	吸収係数 ⁴⁾ t-CO ₂ /ha/年
濃生	5	2978	417	156	891	12.0
密生	4	1274	178	67	381	5.1
疎生	3	545	76	29	163	2.2
点生	2	233	33	12	70	0.9
極点生	1	100	14	5	30	0.4

1) 乾燥重量/湿重量は瀬戸内海（柳井湾）⁴⁾ の事例を参考に地上部12%、地下部16%、全体14%と仮定

2) 炭素量/乾燥重量は瀬戸内海（柳井湾）⁴⁾ の事例を参考に地上部40%、地下部35%、全体37.5%と仮定

3) P/B比は瀬戸内海の実例における最も保守的な値（6.2）と仮定

4) 炭素の残存率①は瀬戸内海の実例を参照し、15.6%と設定。残存率②は手引きを参照し、1.74%と設定。

b) 湿重量の算定

湿重量については前回申請と同様の換算式より求めた。瀬戸内海（柳井湾 文献 4）を参照し、含水率を地上部 88%、地下部 84%と設定した。また、乾燥重量あたりの炭素含有量を地上部 40%、地下部 35%と設定した。海老干潟および百島において、過去（平成 14 年）に実施された調査結果をもとに、地上部と地下部の現存量比を 1 : 1 とした。これにより、含水率は 86%、炭素

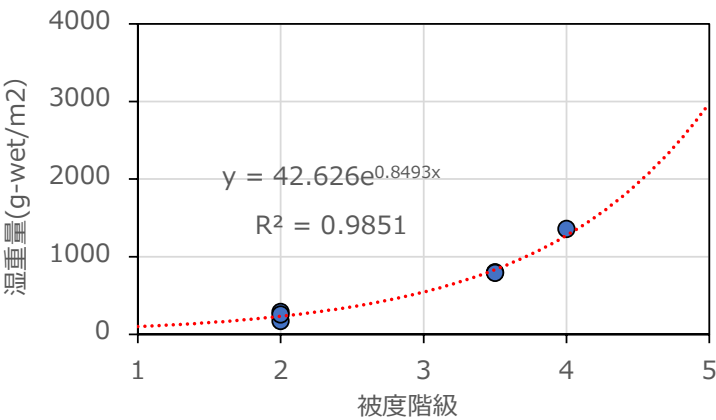
含有量は 37.5%と仮定した。さらに、海老干潟、百島干潟の調査結果をもとに、被度別の湿重量の換算式を作成し、被度毎の平均湿重量を決定した（表 2、図 1）。

表 2 海老干潟・百島干潟のアマモ現存量調査結果

単位：湿重量（g-wet/m2）				
被度階級	海老地区	百島Ⅰ	百島Ⅱ	平均
密生	-	-	1358（646）	985(512)
密生～疎生	802（528）	795（362）	-	-
点生	174（66）	291（135）	256（99）	240(100)

※（ ）内は地上部の重量を示す。また、海老、百島Ⅰはアマモの現存量の計測地点が密生と疎生の境界付近であったため、密生～疎生と定義した。

出典：平成14年度尾道系崎港における生物生息状況調査 報告書，中国地方整備局。



※海老、百島Ⅰはアマモの現存量の計測地点が密生と疎生の境界付近であったため、便宜的に被度階級を 3.5 とした。

図 1 海老干潟・百島干潟の現地調査結果からの湿重量推定式

C) 吸収係数の算定

以上の吸収係数にかかわる各種変数の推定結果をもとに、以下の式により、吸収係数を算定した。

吸収係数＝湿重量 × （ 1 －含水率） × 乾燥重量あたりの炭素含有量 × P/B 比 × 生態系全体への変換係数 × （残存率①+残存率②）

ここで、前回申請と同様に、生態系全体への変換係数は、Jブルークレジット申請の手引きを参照し、2.12 と設定した。残存率①（底泥埋没、海洋深層への輸送）については、杉松ら（文献 5）による瀬戸内海のアマモ流出シミュレーション結果をもとに 15.6%（瀬戸内海内への堆積有機物+瀬戸内海外へ流出するアマモ草体）と設定した。また、残存率②（溶存有機物）については、Jブルークレジット申請の手引きを参照し、1.74%と設定した。この結果、以下の表 3 を得た。吸収係数は濃生で 12.2t-CO₂/ha/年、密生で 5.2t-CO₂/ha/年、疎生で 2.2t-CO₂/ha/年、点生で 1.0t-CO₂/ha/年、極点生で 0.4t-CO₂/ha/年と見積もられた。

表 3 被度別の吸収係数の算定結果

	被度階級	湿重量 g-wet/m ²	乾燥重量 ¹⁾ g-dry/m ²	炭素量 ²⁾ g-C/m ²	年間純生産量 ³⁾ g-C/m ² /年	吸収係数 ⁴⁾ t-CO ₂ /ha/年
濃生	5	2978	417	156	907	12.2
密生	4	1274	178	67	388	5.2
疎生	3	545	76	29	166	2.2
点生	2	233	33	12	71	1.0
極点生	1	100	14	5	30	0.4

- 1) 乾燥重量/湿重量は瀬戸内海（柳井湾）⁴⁾ の事例を参考に地上部12%、地下部16%、全体14%と仮定
 2) 炭素量/乾燥重量は瀬戸内海（柳井湾）⁴⁾ の事例を参考に地上部40%、地下部35%、全体37.5%と仮定
 3) P/B比は瀬戸内海の実例における最も保守的な値（5.8）と仮定
 4) 炭素の残存率①は瀬戸内海の実例を参照し、15.6%と設定。残存率②は手引きを参照し、1.74%と設定。

参考文献

- 1) 吉田・仲岡：日本沿岸の藻場による有機炭素の生成，ブルーカーボン，堀・桑江（編），2017，地人書館，東京。
- 2) Yoshida et. al.: Production of *Zostera marina* with different shoot size and stand structures in the Seto Inland Sea, Japan - production in the luxuriant season in 2012 -, Biosphere Sci. , 54:29-44, 2015.
- 3) 吉田ら：広島湾とその周辺海域におけるアマモの生態的特性と多様性，生物圏科学，52，71-86，2013.
- 4) 川端ら：柳井湾における春期から夏期のアマモ *Zostera marina* の純生産量の推定，日本水産学会誌，59（3），455-459.
- 5) 杉松ら：粒子追跡-物質循環結合モデルを用いた瀬戸内海における漂流アマモの炭素堆積量推定，土木学会論文集 B2（海岸工学），71（2），I_1387-I_1392, 2015.

② 干潟

各干潟でチャンバー法による CO_2 吸収量の計測と、底泥表面のクロロフィルを計測し、日射量・気温・底泥クロロフィル量を変数としたモデルから各干潟で地盤高別に吸収係数を設定した。以下に詳細を示す。

a) 現地調査

2023 年 8 月 19 日から 8 月 28 日において、各干潟において、干潮時に現地調査を実施した。現地では、各干潟の環境を代表できる中心付近において、岸沖方向に地盤高+2.0m、+1.5m、+1.0m、+0.5mの位置で地点を設定した。地盤高+2.0m、+1.5m、+1.0m、+0.5mの地点では、底泥を口径 3cm のシリンジで 3 回採取し、深度 0-1cm を分取し持ち帰り、分析室でクロロフィル量の分析を行った。また、地盤高+2.0m、1.0mの地点では、直径 400mm 高さ 310mm のアクリル製のチャンバーを設置し、通気口より、定量ポンプを用いて大気を循環させた。循環チューブの途中に CO_2 アナライザー (LI-CAR 社製 LI-850) を接続し、1 秒間隔で 10 分ほど CO_2 濃度の変化を計測した。

計測は明チャンバーと暗チャンバーの両方で実施し、明チャンバーの値から暗チャンバーの値を引くことで、微細藻類による吸収量を求めた。



チャンバーによる計測



クロロフィル採取

写真 2 現地調査の実施状況

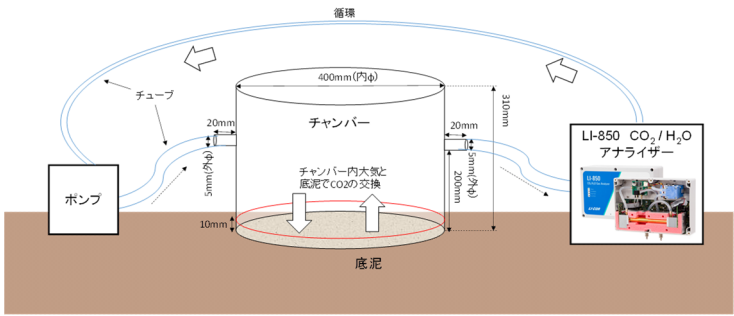


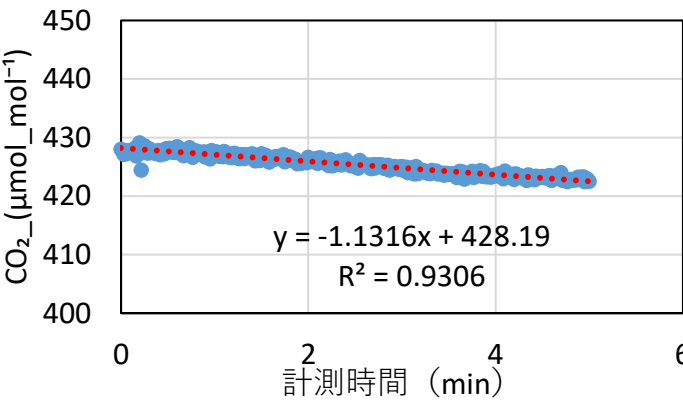
図 2 チャンバーによる CO2 吸収量の計測要領

また、同時に、干潟表面における光量子量を光量子計（J F E アドバンテック社製 DEF12-L）により計測した。

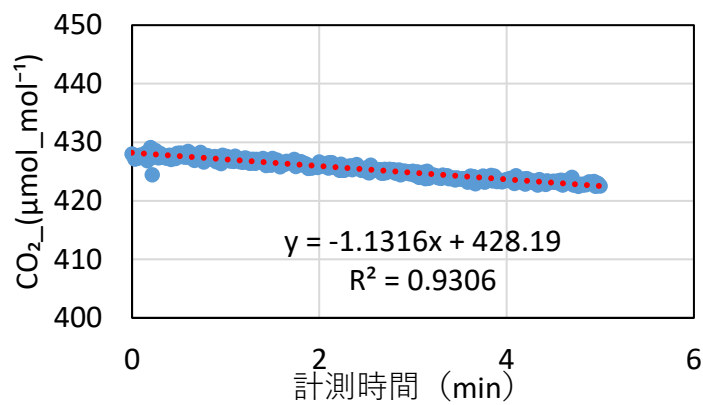
チャンバーによって得られた CO2 分圧の変化の傾き（図 3）と、チャンバー内の平均気温から、以下の式を用いて、CO2 の吸収（もしくは放出）フラックスを算定した。

CO2 フラックス = CO2 変化の傾き (ppm/min) × チャンバーの体積 (L) / 1mol あたりの体積 (L/mol) × CO2 分子量 (44) × 10⁻³ / チャンバーの面積 (m²)

1mol あたりの体積 (L) = 気体定数 (8.3 × 10³) × チャンバー内の絶対温度 / 気圧 (101325pa)



(明チャンバー)



(暗チャンバー)

図 3 チャンバー内の CO2 濃度の変化（海老干潟+1.0mの例）

明チャンバーにおける CO₂ フラックスは、微細藻類による吸収から有機物分解等による放出を差し引いた正味の CO₂ 交換量である。また、暗チャンバーにおける CO₂ フラックスは有機物分解による CO₂ 放出量である。このため、以下の式が成立する。

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ 交換量 (明チャンバー)} \\ &= \text{CO}_2 \text{ 吸収量} + \text{CO}_2 \text{ 放出量 (暗チャンバー)} \\ \text{CO}_2 \text{ 吸収量} &= \text{明チャンバー} - \text{暗チャンバー} \end{aligned}$$

各調査地点における CO₂ 交換量、CO₂ 吸収量、CO₂ 放出量および光量子量等の計測結果および福山特別地域気象観測所における気温の記録は表 4 に示すとおりである。また、各干潟の各地盤高におけるクロロフィル量の分析結果は、図 4 に示すとおりである。

表 4 チャンバー法による干潟表面の CO₂ フラックスの計測結果

地点	地盤高 (m)	CO ₂ フラックス(mg-CO ₂ /m ² /min)			気温 (°C)	光量子 (μmol/m/sec)
		CO交換量	CO放出量	CO吸収量		
高尾干潟	+1.0	-0.28	0.89	-1.16	30.3	532
高尾干潟	+1.5	-1.20	0.40	-1.60	29.6	59
高尾干潟	+2.0	-0.64	0.67	-1.31	29.1	1313
海老干潟	+1.0	-1.21	0.25	-1.46	30.6	1986
海老干潟	+2.0	-1.07	0.36	-1.43	30.1	2007
百島干潟	+1.0	-2.26	0.82	-3.08	30.2	1895
百島干潟	+1.5	-0.98	0.42	-1.40	30.8	1161
灘干潟	+1.0	-1.16	0.44	-1.60	30.6	1677
灘干潟	+2.0	-0.26	0.77	-1.03	29.9	1287

※負値を吸収として示した。

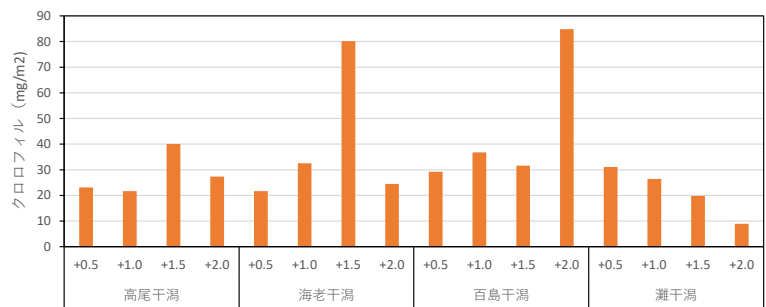


図 4 底泥のクロロフィル量の分析結果

b) モデルによる吸収係数の算定

干潟における年間の CO₂ 交換量を算定するため、吸収量および放出量に関する数理モデルを構築した。

吸収量のモデルは、底生微細藻類の光合成活性を規定する主な要因である光量子量と気温を境界条件とした。

モデルは、瀬戸内海における既存研究（文献 6 および文献 7）を参照し、以下の式より定義した。

単位クロロフィルあたりの CO₂ 吸収フラックス

$$= \text{最大 CO}_2 \text{ 吸収量} \times \tanh \left(\alpha \times \frac{\text{光量子量}}{\text{最大 CO}_2 \text{ 吸収量}} \right) \times \text{温度係数}$$

$$\text{温度係数} = \exp \left(\beta_1 \times (\text{温度} - 30^\circ\text{C}) \right)$$

最大 CO₂ 吸収量および α とともに、実測値をうまく再現できるように最小二乗誤差法により求めた。 β_1 は文献 6 を参照し、0.0283 とした。

暗チャンバーにより計測した分解による CO₂ 排出量については、以下の式より算定した。

単位面積当たりの CO₂ 放出フラックス

$$= \text{CO}_2 \text{ 放出量} \times \exp \left(\beta_2 \times (\text{温暖} - 30^\circ\text{C}) \right)$$

ここで、CO₂ 放出量は各干潟において暗チャンバーで計測した CO₂ 放出フラックスの平均値とした。 β_2 は既存文献を参照し、0.0693 とした。

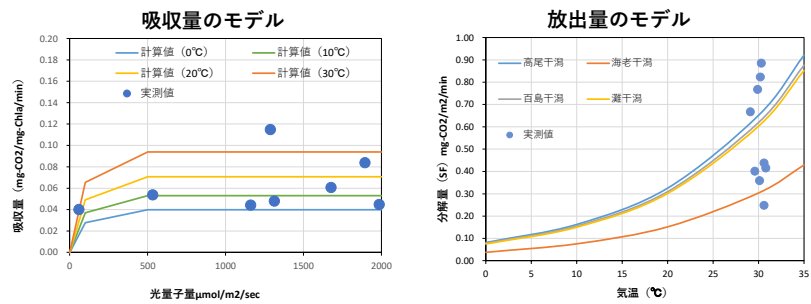


図 5 構築したモデルと実測値の比較

申請期間中（2022 年 9 月 1 日から 2023 年 8 月 31 日）の最寄りの観測所における気温と日射量の 1 時間置の統計値を収集し、モデルの変数として与えた。

水深は地盤高と尾道糸崎港の潮位から求めた。干潟面と大気間での CO₂ 交換は、干出時のみに起こると仮定し、干出した時間帯のみに CO₂ 吸収と CO₂ 放出が起こるように設定した。

上記のモデルを用いて、各干潟の各地盤高別のクロロフィル量をもとに、年間の CO₂ フラックス（吸収係数）を算定した。この際、底泥のクロロフィル量は、近隣の干潟におけるクロロフィルの計測結果および文献 6 を参照し、冬季（12-2 月）は夏季（6-8 月）の 70%、春季（3-5 月）、秋季（9-11 月）は夏季の 85%と仮定した。

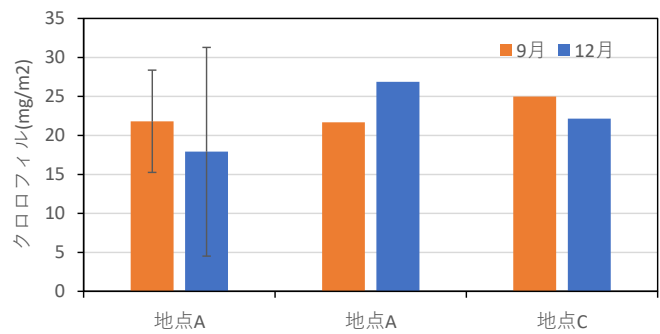
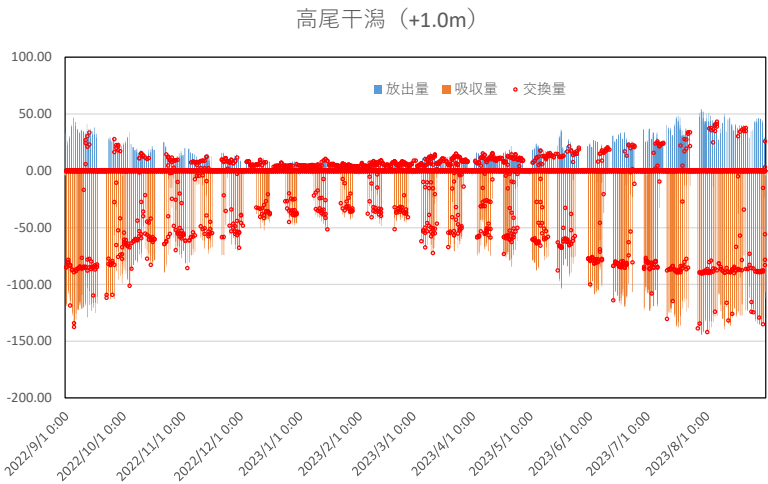


図 6 近隣の干潟における底泥クロロフィルの季節変化

以上の方法により求めた各干潟の地盤高別の吸収係数は、図 7 および表 5 のとおりである。本申請で推定した干潟の吸収係数は、国内の他の事例と比較し、やや低く、妥当かつ保守的な値が得られていると考えられる（表 6）。



※負値を吸収として示した.

図 7 モデルによる CO2 吸収・放出フラックスの推計例

表 5 干潟の吸収係数の算定結果

干潟	地盤高	クロロフィル	吸収係数
	m	mg/m2	t-CO2/ha/year
高尾	0.5	23.11	-0.10
高尾	1.0	21.69	-0.34
高尾	1.5	40.08	-1.73
高尾	2.0	27.35	-1.51
海老	0.5	21.69	-0.12
海老	1.0	32.54	-0.74
海老	1.5	80.17	-4.22
海老	2.0	24.52	-1.68
百島	0.5	29.24	-0.14
百島	1.0	36.78	-0.74
百島	1.5	31.60	-1.29
百島	2.0	84.88	-6.34
灘	0.5	31.12	-0.15
灘	1.0	26.41	-0.48
灘	1.5	19.81	-0.65
灘	2.0	8.96	-0.04

対象生態系面積の算定方法に関する資料

① アマモ場の面積の算定方法

2023 年 7 月 6 日から 10 日の間において各干潟で、UAV により空中写真を撮影した。同時に音響測深機および潜水土目視によるライン観測から、藻場の種と被度を確認した。これらの情報を組み合わせ、各干潟において被度別のアマモ場の面積を算定した。

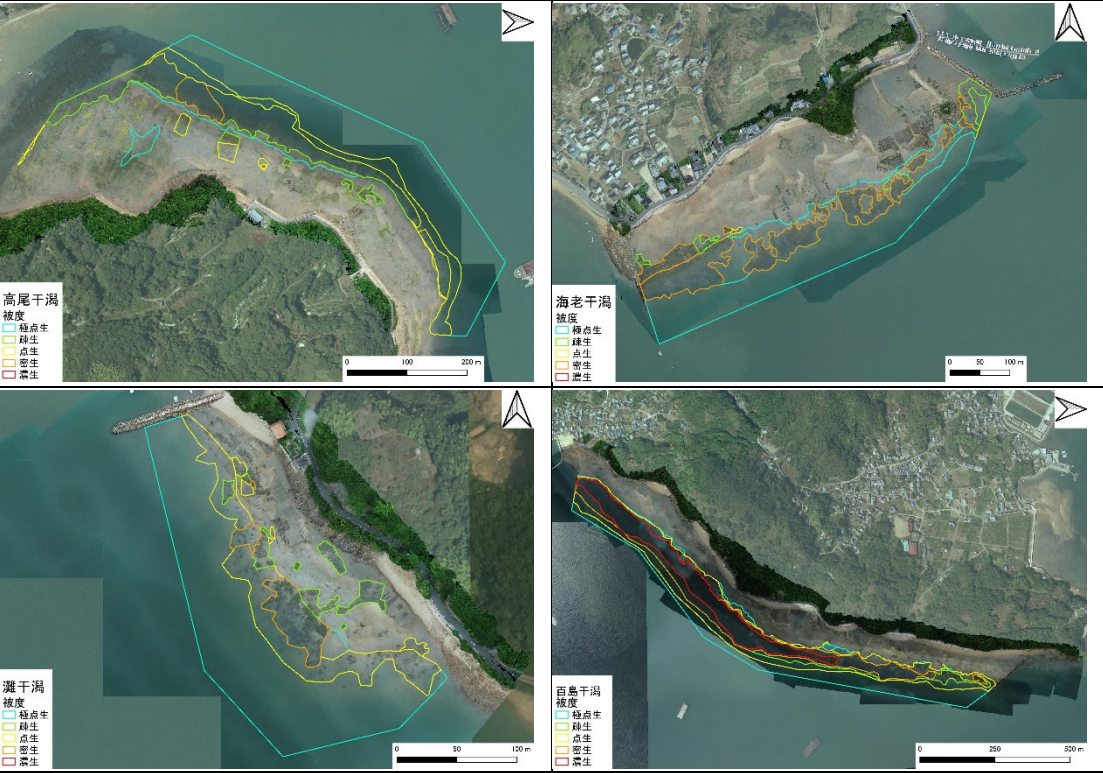


図 5 各干潟におけるアマモ場の面積の判定に用いた画像（付録参照）

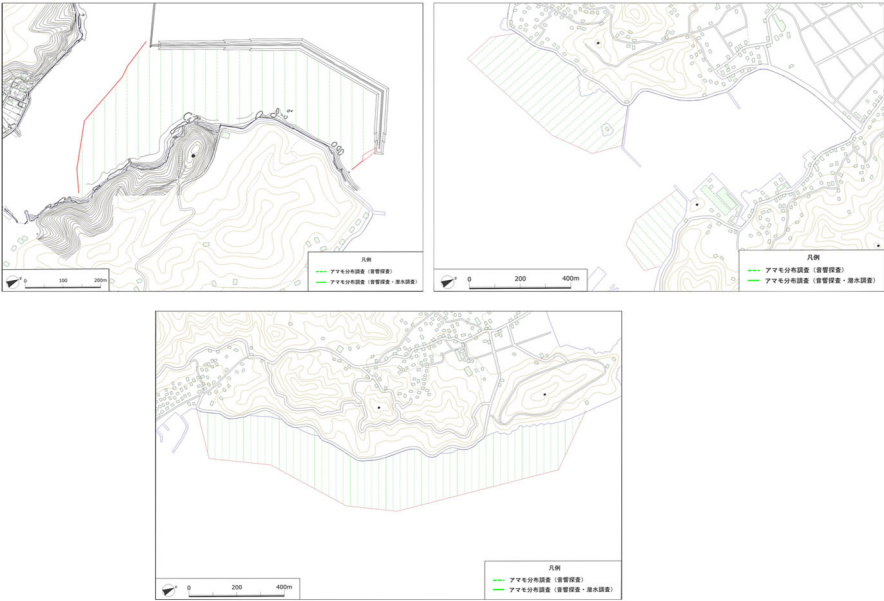


図 6 各干潟における音響測深機および潜水の調査側線

Figure 7 displays three panels showing observation results on the representative side lines for various dry holes (干潟). Each panel includes a map, a scale bar, and a legend.

- Panel ① 西島干潟 (Saijima Dry Hole):** The map shows the dry hole area with a representative side line marked by a red line. The side line is composed of blue and red dots. The map includes contour lines and a scale bar (0 to 400m). An inset photograph shows the actual vegetation along the side line. The legend indicates:
 - 調査区画範囲 (Survey Area Range):
 - 調査区画範囲 (75%以上) (Survey Area Range (75% or more))
 - 調査区画範囲 (50%~74%) (Survey Area Range (50%~74%))
 - 調査区画範囲 (25%~49%) (Survey Area Range (25%~49%))
 - 調査区画範囲 (0%~24%) (Survey Area Range (0%~24%))
 - 調査区画範囲 (0%未満) (Survey Area Range (less than 0%))
 - 調査区画範囲調査結果 (Survey Area Range Survey Results):
 - 調査区画範囲 (75%以上) (Survey Area Range (75% or more))
 - 調査区画範囲 (50%~74%) (Survey Area Range (50%~74%))
 - 調査区画範囲 (25%~49%) (Survey Area Range (25%~49%))
 - 調査区画範囲 (0%~24%) (Survey Area Range (0%~24%))
 - 調査区画範囲 (0%未満) (Survey Area Range (less than 0%))
- Panel ② 高尾干潟 (Takao Dry Hole):** The map shows the dry hole area with a representative side line marked by a red line. The side line is composed of blue and red dots. The map includes contour lines and a scale bar (0 to 200m). An inset photograph shows the actual vegetation along the side line. The legend indicates:
 - 調査区画範囲 (Survey Area Range):
 - 調査区画範囲 (75%以上) (Survey Area Range (75% or more))
 - 調査区画範囲 (50%~74%) (Survey Area Range (50%~74%))
 - 調査区画範囲 (25%~49%) (Survey Area Range (25%~49%))
 - 調査区画範囲 (0%~24%) (Survey Area Range (0%~24%))
 - 調査区画範囲 (0%未満) (Survey Area Range (less than 0%))
 - 調査区画範囲調査結果 (Survey Area Range Survey Results):
 - 調査区画範囲 (75%以上) (Survey Area Range (75% or more))
 - 調査区画範囲 (50%~74%) (Survey Area Range (50%~74%))
 - 調査区画範囲 (25%~49%) (Survey Area Range (25%~49%))
 - 調査区画範囲 (0%~24%) (Survey Area Range (0%~24%))
 - 調査区画範囲 (0%未満) (Survey Area Range (less than 0%))
- Panel ③ 海老干潟 (Ebi Dry Hole):** The map shows the dry hole area with a representative side line marked by a red line. The side line is composed of blue and red dots. The map includes contour lines and a scale bar (0 to 400m). An inset photograph shows the actual vegetation along the side line. The legend indicates:
 - 調査区画範囲 (Survey Area Range):
 - 調査区画範囲 (75%以上) (Survey Area Range (75% or more))
 - 調査区画範囲 (50%~74%) (Survey Area Range (50%~74%))
 - 調査区画範囲 (25%~49%) (Survey Area Range (25%~49%))
 - 調査区画範囲 (0%~24%) (Survey Area Range (0%~24%))
 - 調査区画範囲 (0%未満) (Survey Area Range (less than 0%))
 - 調査区画範囲調査結果 (Survey Area Range Survey Results):
 - 調査区画範囲 (75%以上) (Survey Area Range (75% or more))
 - 調査区画範囲 (50%~74%) (Survey Area Range (50%~74%))
 - 調査区画範囲 (25%~49%) (Survey Area Range (25%~49%))
 - 調査区画範囲 (0%~24%) (Survey Area Range (0%~24%))
 - 調査区画範囲 (0%未満) (Survey Area Range (less than 0%))

Figure 7 各干潟における代表側線における観察結果 (付録参照)

図7 各干潟における代表側線における観察結果（付録参照）

② 干潟の面積の算定方法

2023年6月3日(高尾)、6月4日(百島)、6月5日(海老、灘)に各干潟において、UAVによる空中写真を撮影した。同時に複数地点において、RTK-GPSによる水準測量を行い標定点とした。SfM解析(Pix4D)により航空写真と標定点の地盤高から、10mメッシュで地盤高のデータを作成し、0.5mピッチのコンター図を作成した。

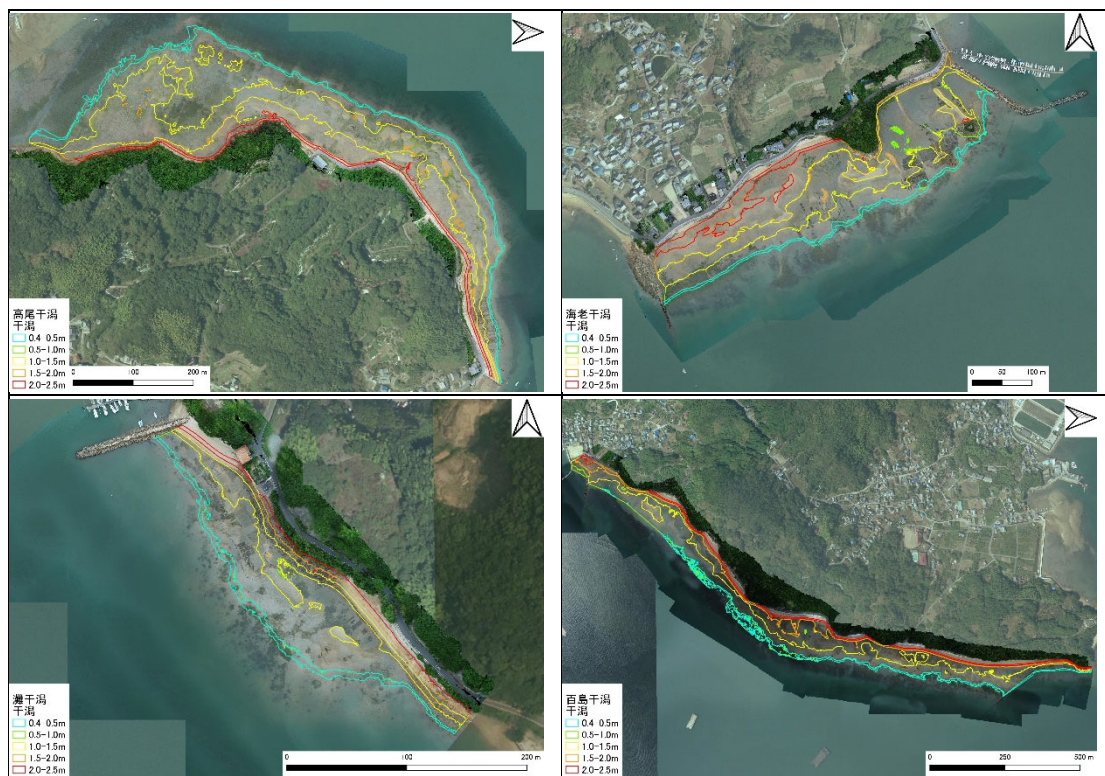


図8 各干潟における干潟の面積の判定に用いた画像(付録参照)

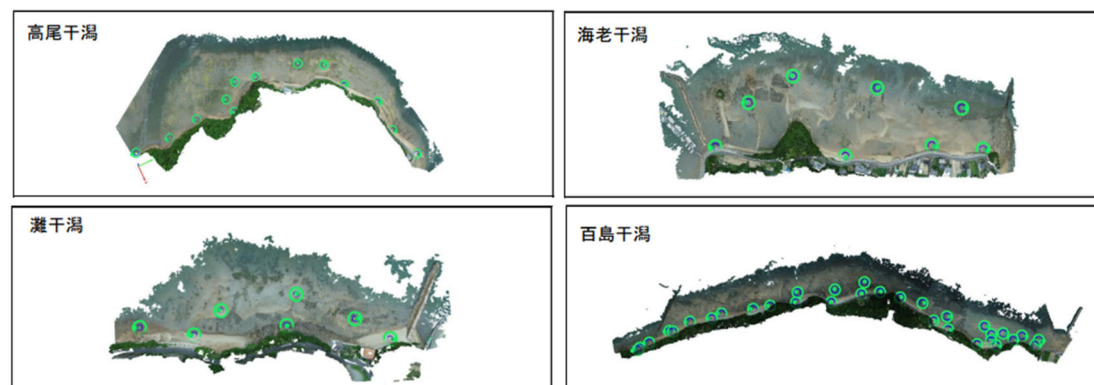
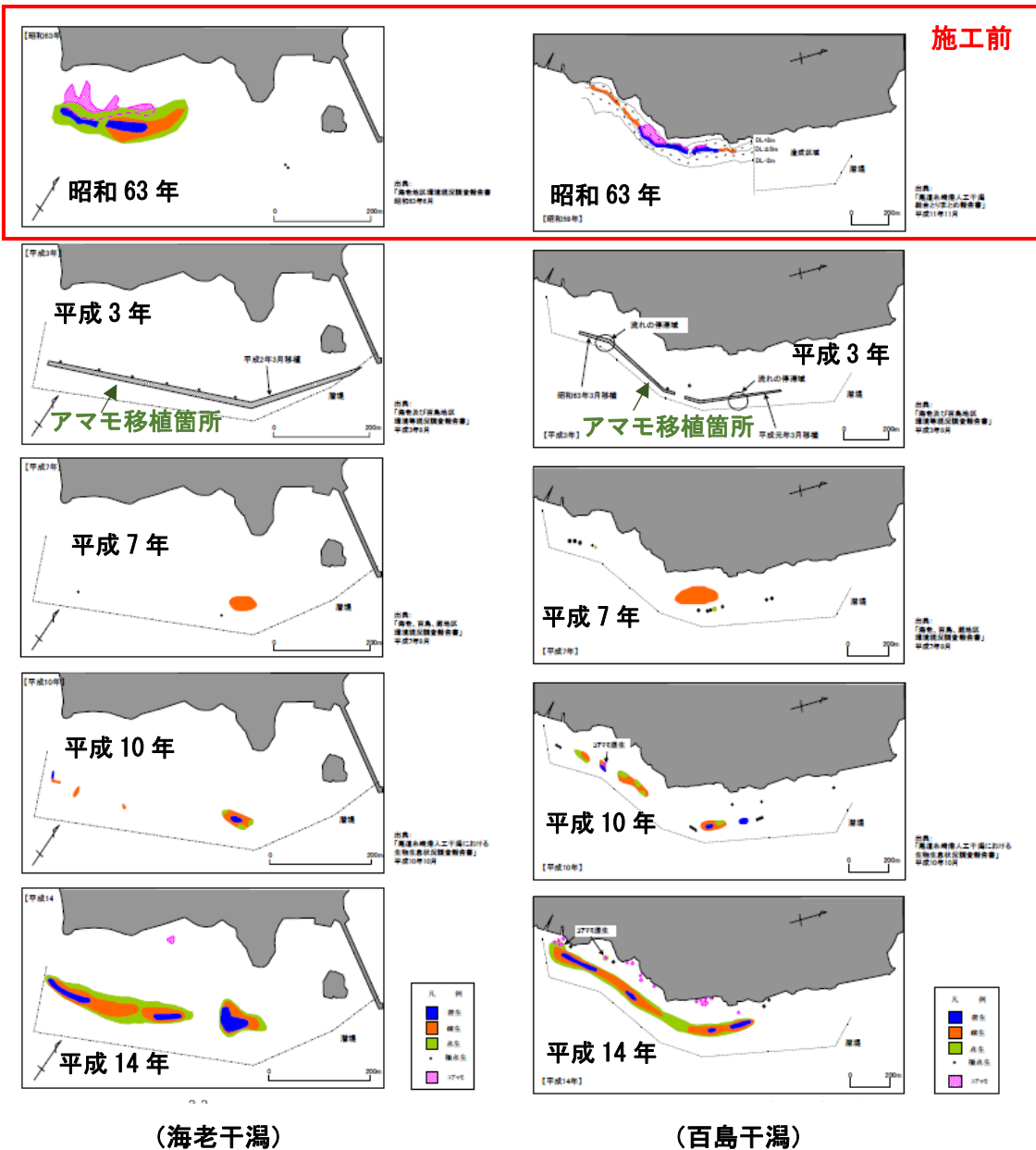


図9 各干潟における標定点の設置状況

(別添 1)

③ アマモ場のベースライン面積の算定方法

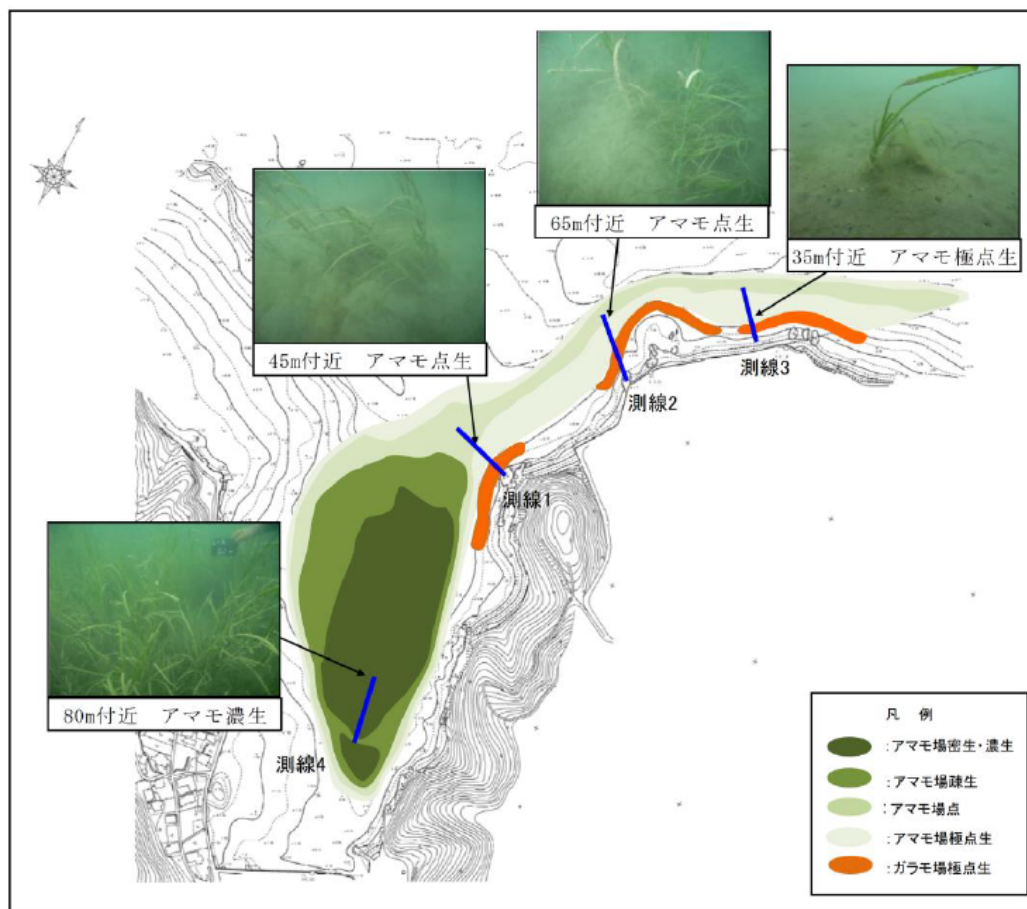
各干潟における施工前の観測結果を入手し、Q-GIS のジオリファレンサーを用いて、GIS 上にスキニングデータを貼り付け面積の計測を行った。



出典：平成 14 年度 尾道系崎港 干潟における生物生息状況調査 報告書、中国地方整備局 広島港湾空港工事事務所，平成 14 年 12 月。

図 10 海老干潟および百島干潟における施工前・後の藻場分布の推移

(別添 1)



出典：令和3年度 広島県東部地域環境調査業務 報告書. 中国地方整備局 広島港湾・空港整備事務所, 令和4年3月.

図 11 高尾干潟における施工前（平成23年5月）の藻場分布