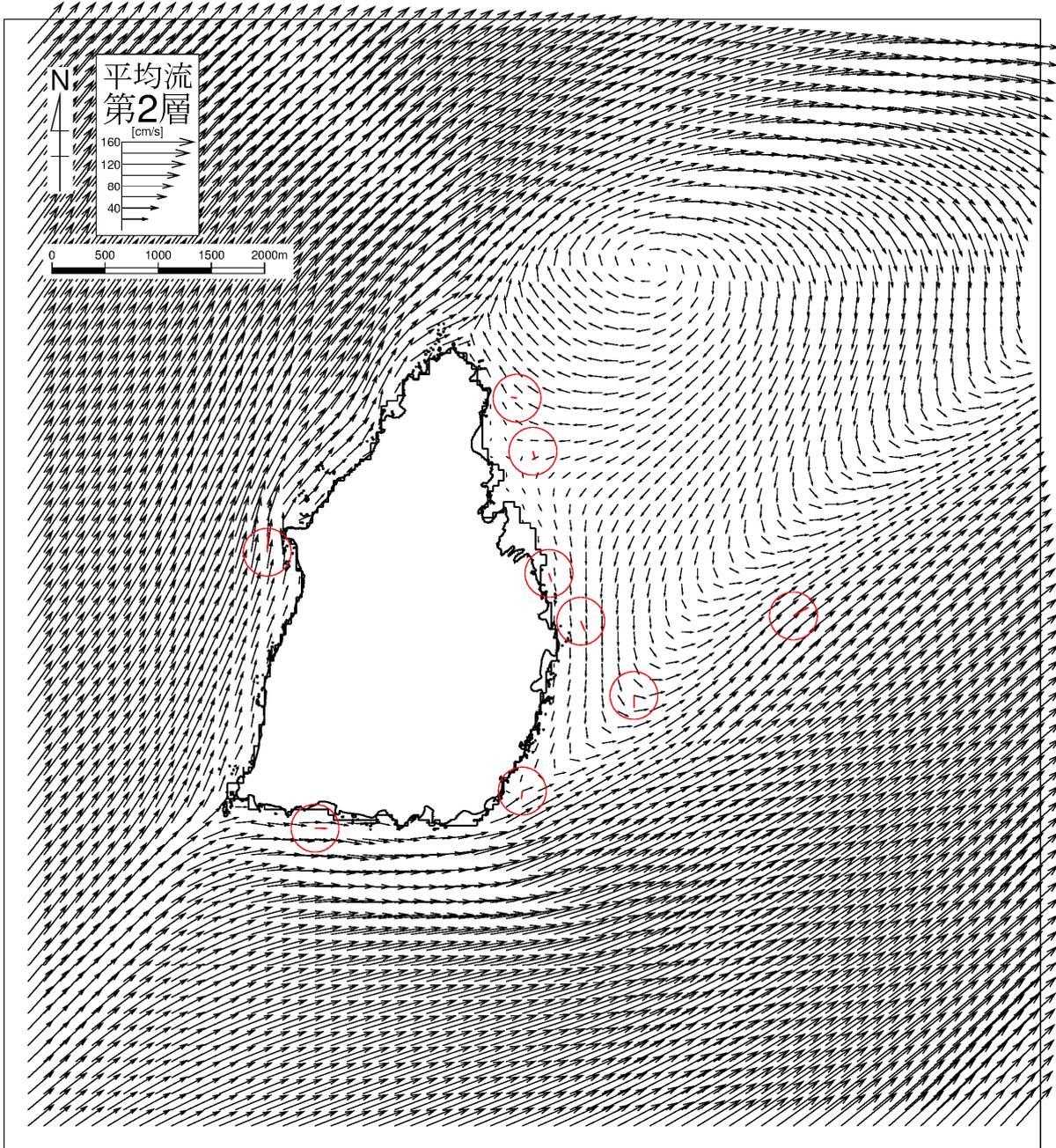
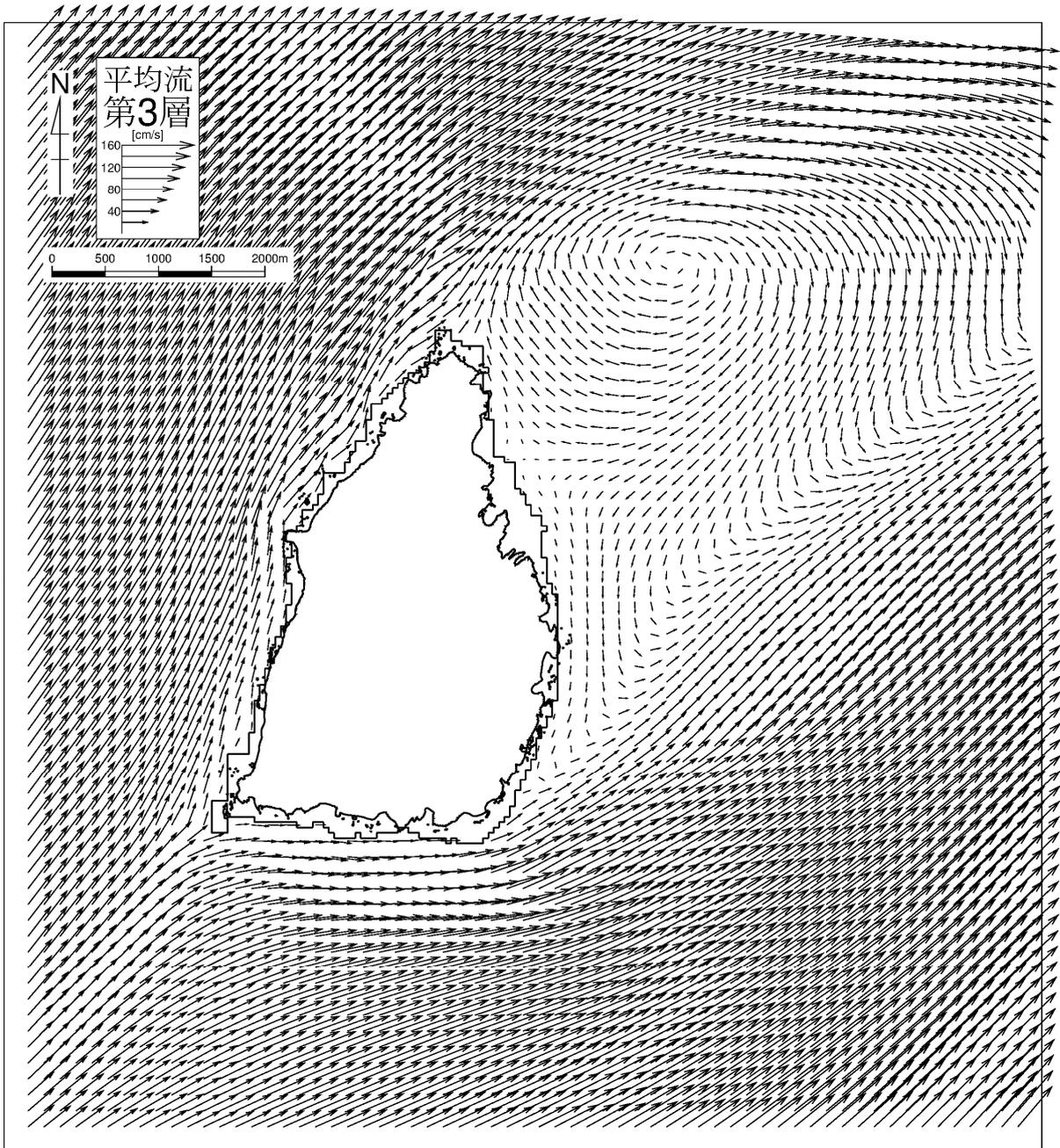


図-6.9.47 (1) 恒流 (平均流) の比較 (調査結果及び計算結果、冬季) 第1層 (0.0 ~2.0m)



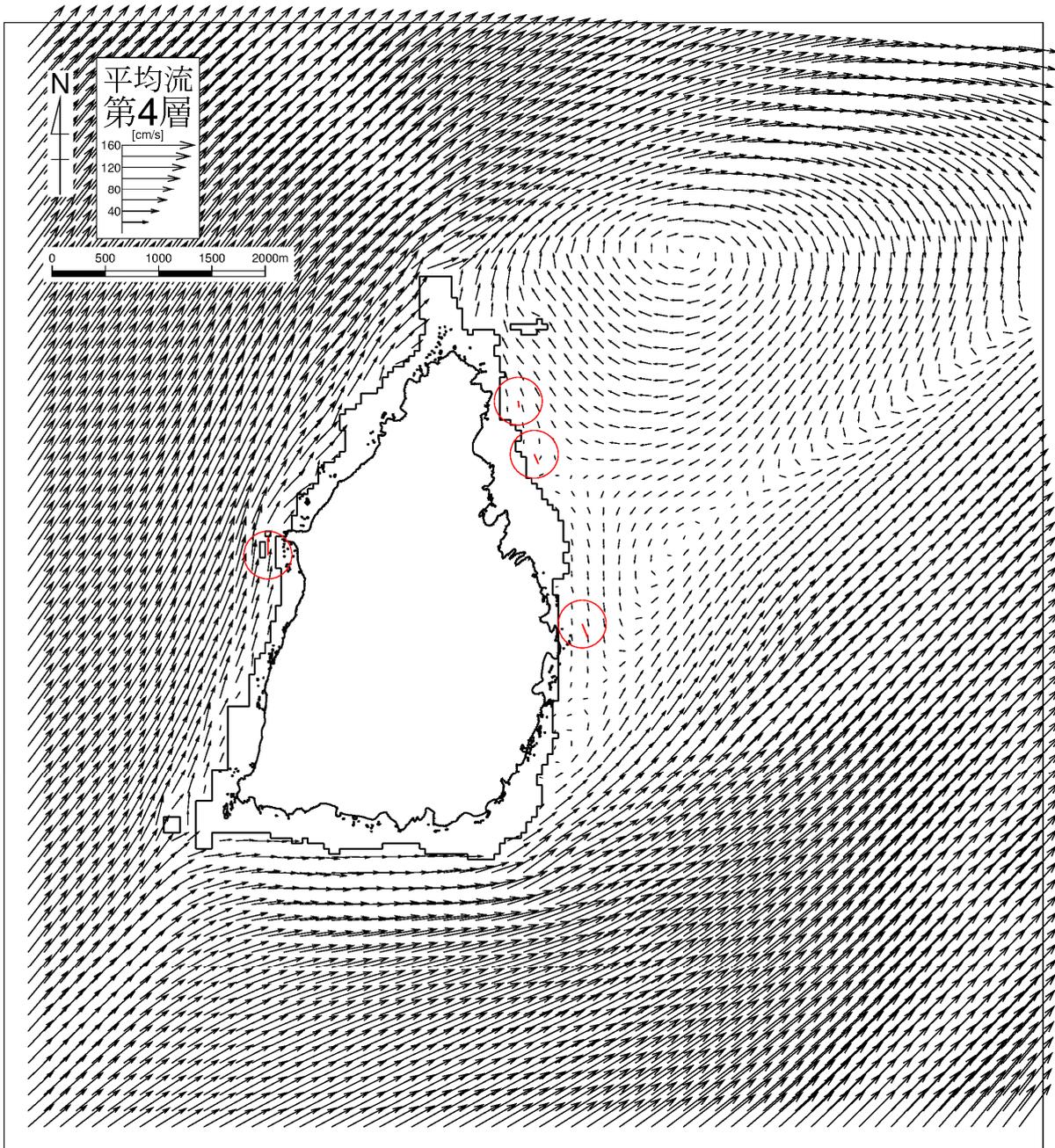
注) 50m 格子のベクトルは 150m 間隔に間引いて描画しています。赤矢印は、調査結果を描画しています。

図-6.9.47 (2) 恒流 (平均流) の比較 (調査結果及び計算結果、冬季) 第2層 (2.0 ~4.0m)



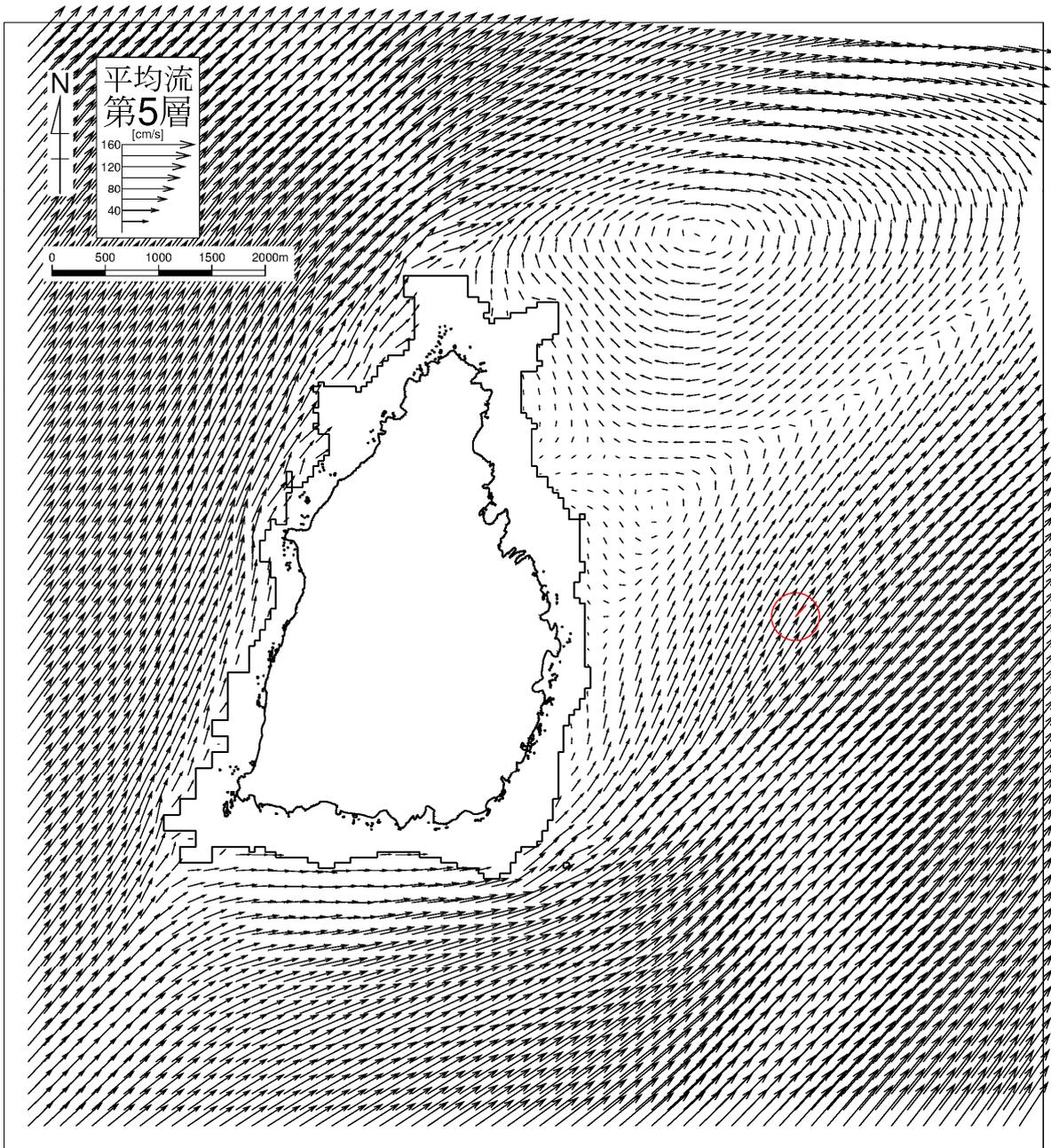
注) 50m 格子のベクトルは 150m 間隔に間引いて描画しています。

図-6.9.47 (3) 恒流 (平均流) の比較 (調査結果及び計算結果、冬季) 第3層 (4.0 ~7.0m)



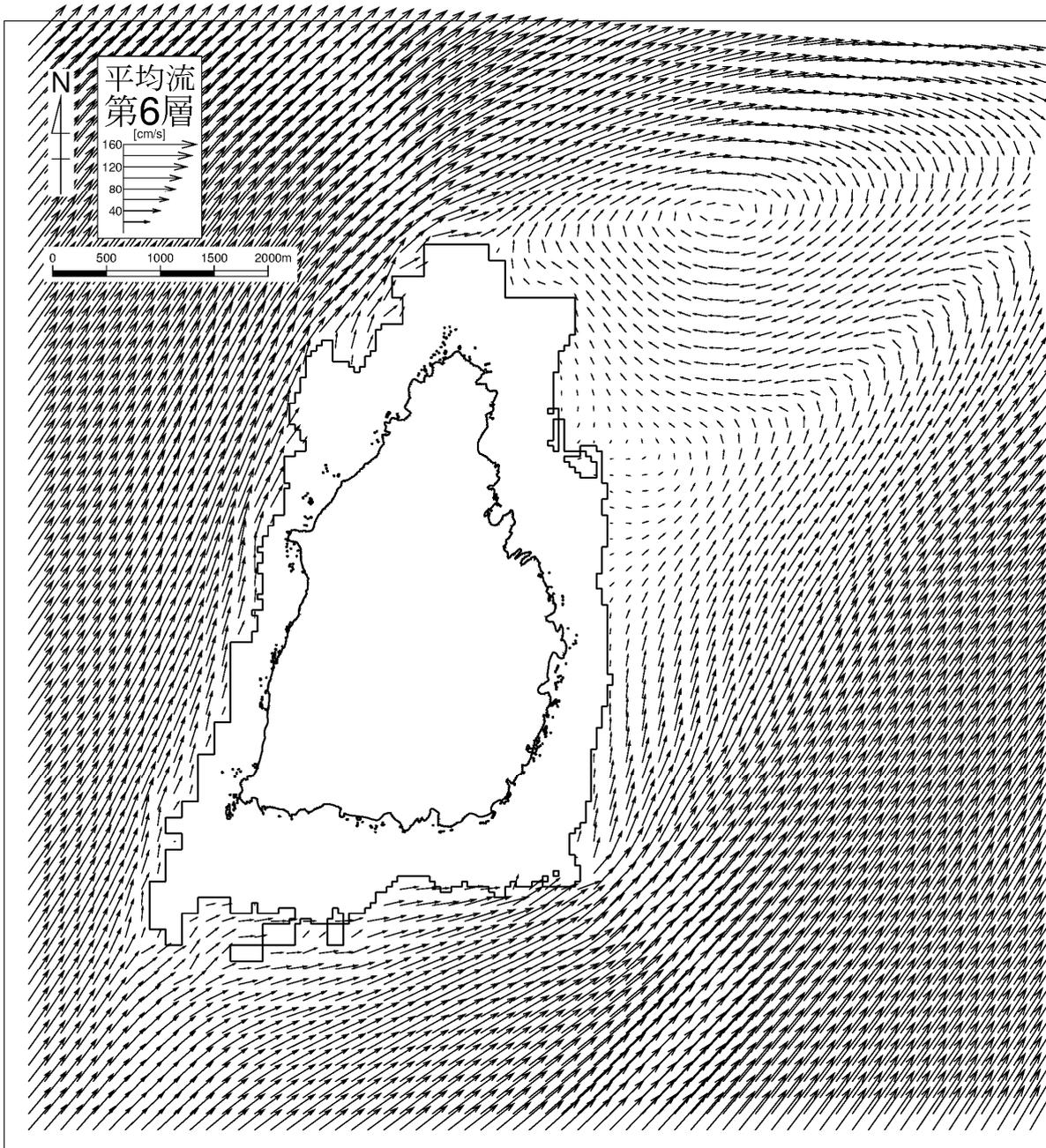
注) 50m 格子のベクトルは 150m 間隔に間引いて描画しています。赤矢印は、調査結果を描画しています。

図-6.9.47 (4) 恒流 (平均流) の比較 (調査結果及び計算結果、冬季) 第 4 層 (7.0 ~10.0m)



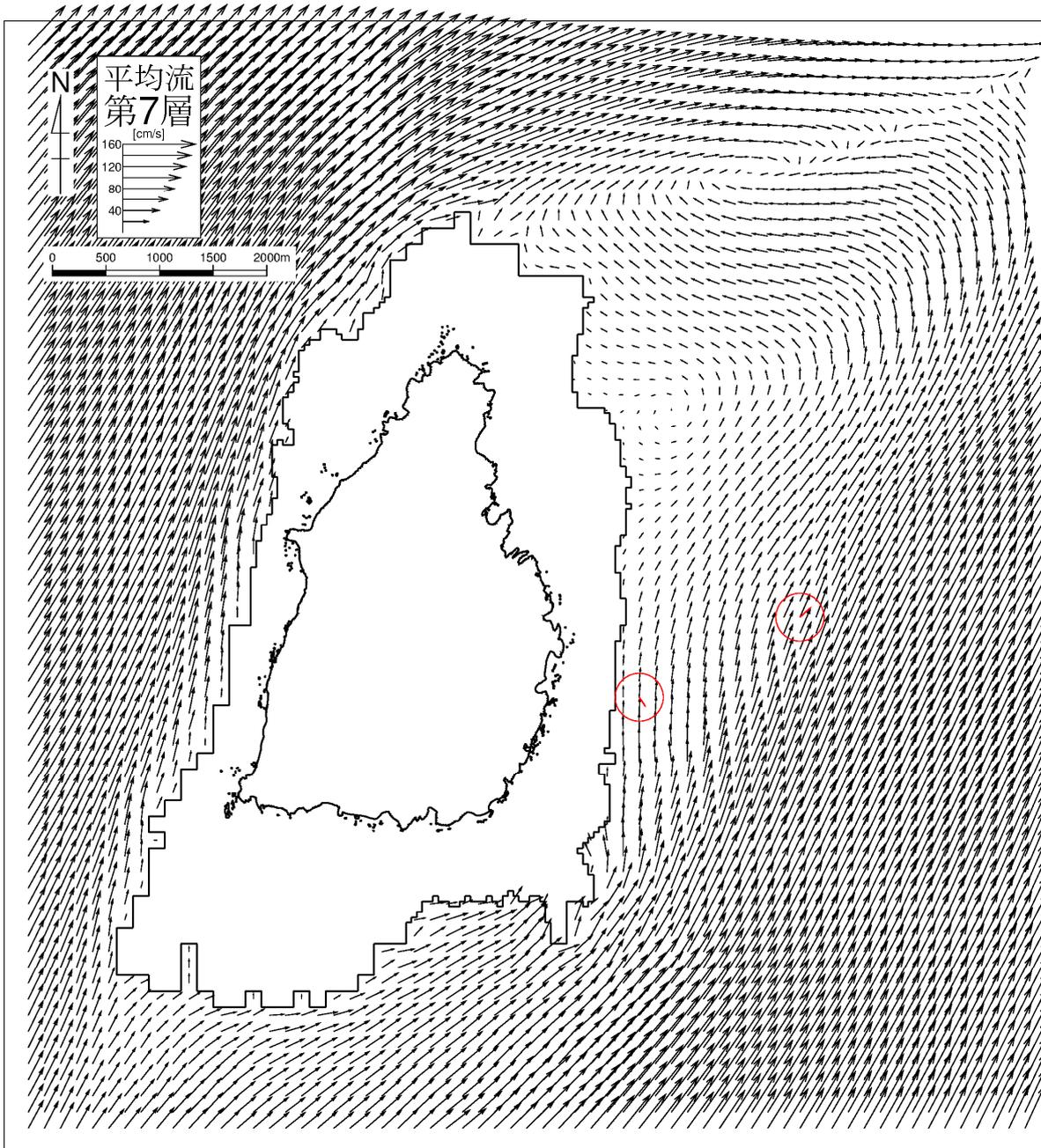
注) 50m 格子のベクトルは 150m 間隔に間引いて描画しています。赤矢印は、調査結果を描画しています。

図-6.9.47 (5) 恒流 (平均流) の比較 (調査結果及び計算結果、冬季) 第5層 (10.0 ~15.0m)



注) 50m 格子のベクトルは 150m 間隔に間引いて描画しています。

図-6.9.47 (6) 恒流 (平均流) の比較 (調査結果及び計算結果、冬季) 第6層 (15.0 ~20.0m)



注) 50m 格子のベクトルは 150m 間隔に間引いて描画しています。赤矢印は、調査結果を描画しています。

図-6.9.47 (7) 恒流 (平均流) の比較 (調査結果及び計算結果、冬季) 第 7 層 (20.0 ~30.0m)

e) 水温・塩分の再現性

水温と塩分の再現性の検討は、図-6.9.48に示す地点で、表-6.9.22に示す連続観測した結果と計算の最終一潮汐平均の計算結果との比較により行いました。水温の観測値と計算値の比較図は夏季および冬季について図-6.9.49および図-6.9.50に、塩分の観測値の計算値の比較図は夏季および冬季について図-6.9.51および図-6.9.52に示しました。

水温・塩分については、夏季と冬季の平均的な水温・塩分の上層・下層のパターンについて、観測値と計算値の比較を示しました。

(ア) 夏季

観測値の水温をみると、上層では地点による違いは少なく、下層では地点 W4 や地点 WA で低い傾向でした。同様に、観測値の塩分では、上層では地点による違いは少なく、下層では地点 W4 や地点 WA で高い傾向でした。これらの下層の地点間の違いは観測水深の違いによるものと考えられます。

これらの観測値の傾向が計算値で再現されているかについて検証した結果、塩分の下層の地点 W4 は計算値がやや高い傾向にありましたが、その他の地点では、水温・塩分ともに、観測値の変動幅の中に含まれていました。また、下層における地点の違いの傾向も表現されていました。

(イ) 冬季

観測値の水温をみると、上層では地点 W5 や地点 WB で低く、下層では地点による違いは少ない傾向でした。また、観測値の塩分では、上層と下層ともに、地点による違いは少ない傾向でした。

これらの観測値の傾向が計算値で再現されているかについて検証した結果、水温・塩分ともに、観測値の変動幅の中に含まれていました。

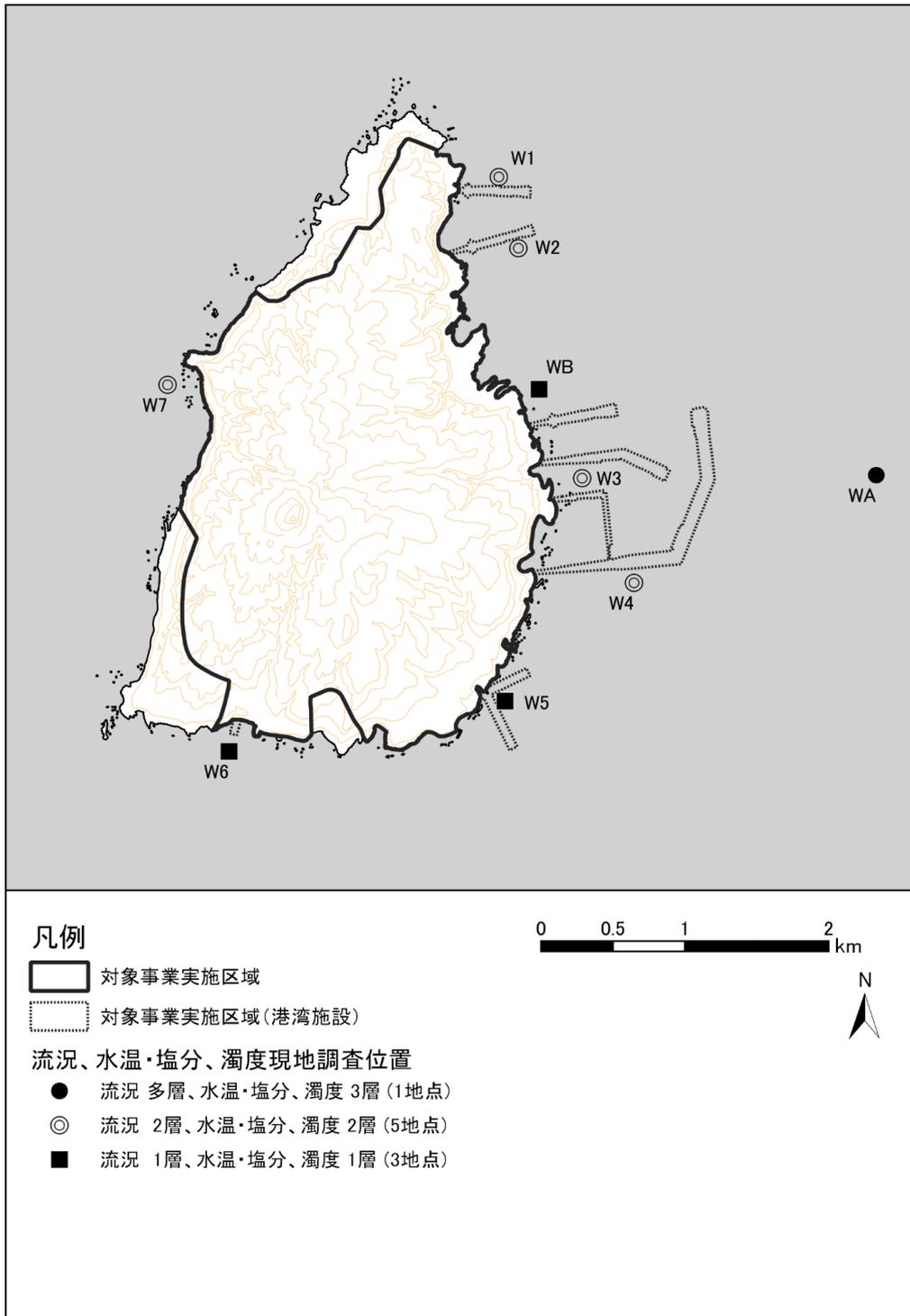
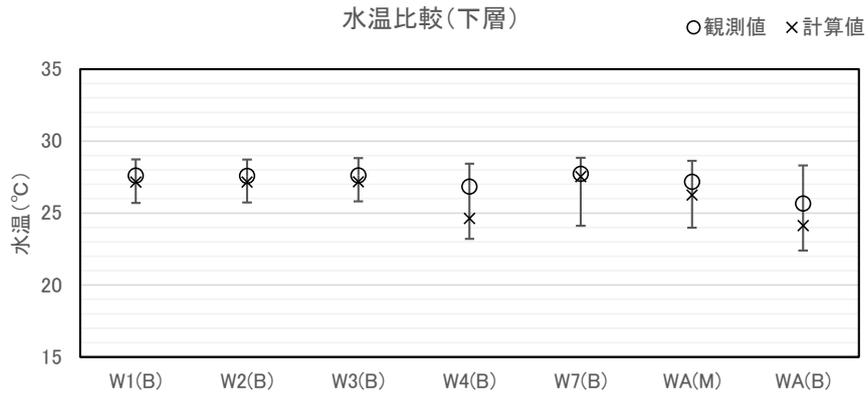
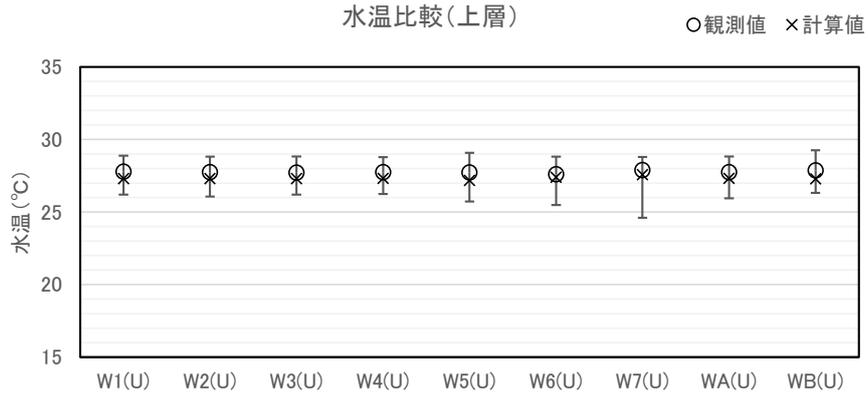


図-6.9.48 水温・塩分の調査地点

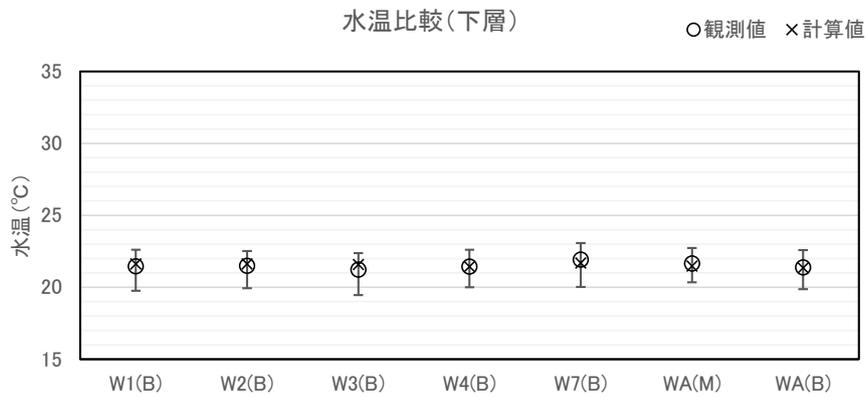
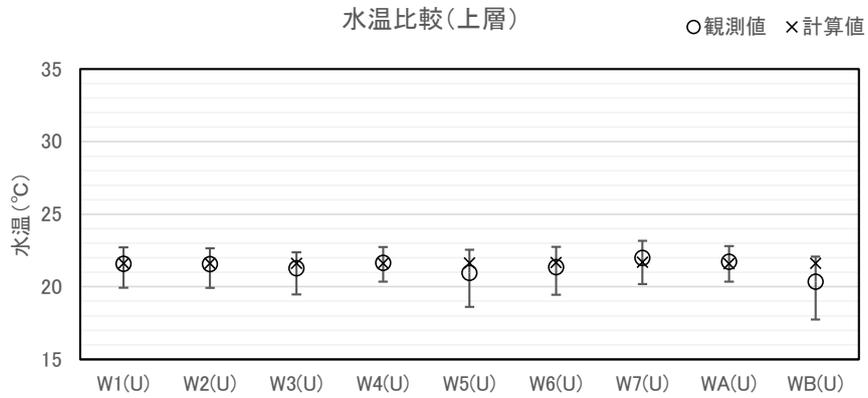
表-6.9.22 水温・塩分解析期間

季節	解析期間
夏季	令和3年8月21日～9月5日(15昼夜連続観測)
冬季	令和3年12月4日～12月19日(15昼夜連続観測)



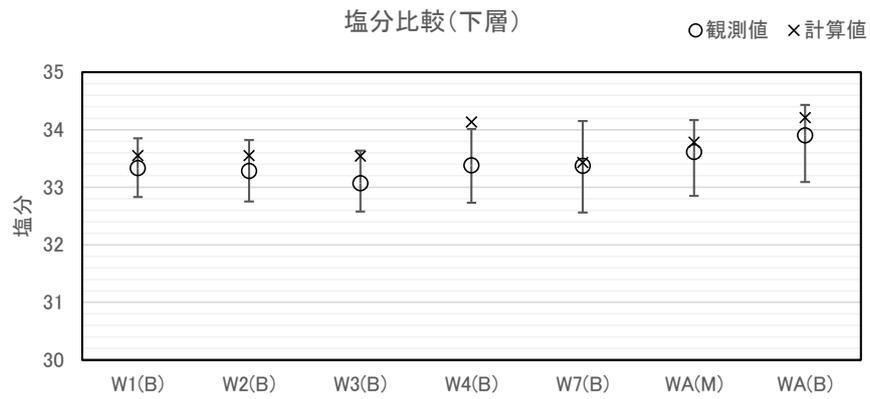
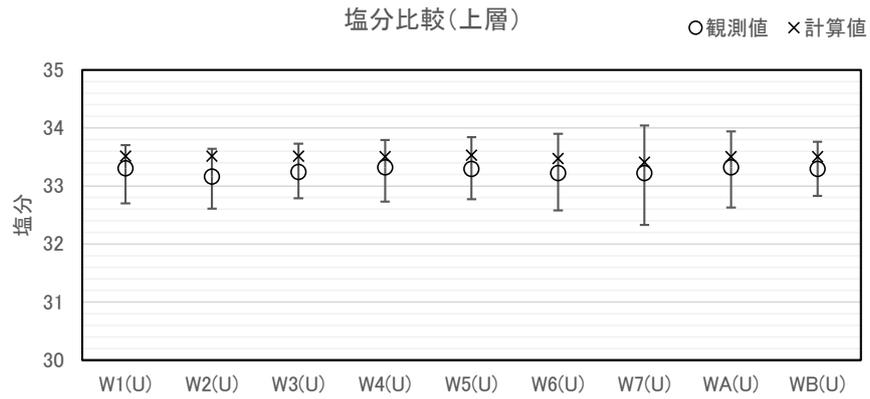
注) エラーバーは観測値の最大最小を示す

図-6.9.49 水温の比較 (調査結果及び計算結果、夏季)



注) エラーバーは観測値の最大最小を示す

図-6.9.50 水温の比較 (調査結果及び計算結果、冬季)



注) エラーバーは観測値の最大最小を示す

図-6.9.51 塩分の比較 (調査結果及び計算結果、夏季)



注) エラーバーは観測値の最大最小を示す

図-6.9.52 塩分の比較 (調査結果及び計算結果、冬季)

f) モデルの妥当性の評価

前述した潮汐流、恒流(平均流)、水温・塩分を指標とした再現性の検証結果では、計算値と観測値の間に差異がある地点もみられました。しかし、事業実施予定区域周辺の特徴的な流れのパターン(海岸線や等深線に沿った往復流の存在、西側からの海流の影響により島の西部で南北に分岐する流れと、それに伴う島北東部での渦による島東部での恒流(平均流)の分布)について、計算値は観測値の傾向を概ね再現していると考えられます。

以上から、構築した流動予測モデルは妥当であり、海上工事、飛行場及びその施設の存在時(港湾施設の存在時)および供用時の影響を予測・評価することは十分可能と判断しました。

2) 波浪の変化

(a) 予測の前提

波浪の変化を予測するにあたっては、通常時（夏季と冬季）と高波浪時（高波浪、年最大波浪、異常波浪）の波浪条件を設定し、飛行場及びその施設の存在（港湾施設の存在）等の影響による波浪の変化を予測しました。

(b) 予測モデル

対象事業実施区域周辺の波浪を適切に評価するにあたっては、以下に示す項目に着目し、その全てを考慮することが可能な方法として、SWAN (Simulating Waves Nearshore[※]) を用いました。

- ・浅水変形及び屈折を考慮できること
- ・波浪の不規則性を考慮できること
- ・任意水深の適用が可能であること
- ・砕波を考慮できること
- ・海底摩擦による波高減衰を考慮できること
- ・波の反射を考慮できること
- ・広い計算範囲に適用可能であること
- ・沿岸域における風による波の発達を考慮できること

SWAN は、エネルギー平衡方程式[※]と等価な「波作用量平衡方程式」を基礎式としており、矩形領域であれば四辺のどこからでも入射波境界の設定が可能である点、細分化領域の設定に関してフレキシブルで制約がない（接続する大小領域の計算格子間隔の比を自由に設定できる）点において、エネルギー平衡方程式法よりも優位です。

[※] A numerical wave model for obtaining realistic estimates of wave parameters in coastal areas, lakes and estuaries from given wind-, bottom-, and current conditions, Delft University of Technology, <http://fluidmechanics.tudelft.nl/swan/default.htm>.

[※] 高山知司・池田直太・平石哲也：砕波及び反射を考慮した波浪変形計算，港湾技術研究所報告，第30巻，第1号，1991，pp.21-67.

SWAN では、波・流れ共存場の波浪の方向スペクトルを扱い易いように、エネルギー平衡方程式の場合のエネルギースペクトルではなく、波作用量が用いられています。

波作用量 N とエネルギースペクトル E の関係は次式で表されます。

$$N(\sigma, \theta) = \frac{E(\sigma, \theta)}{\sigma}$$

ここで、 σ は流れに対する相対角周波数（流れとともに移動する座標系からみた角周波数）であり、絶対角周波数 ω 、波数ベクトル \vec{k} 、流速ベクトル \vec{U} から、 $\sigma = \omega - \vec{k} \cdot \vec{U}$ で求められます。

SWAN の基礎式（平面座標系）を以下に示します。

波作用量平衡方程式（Wave action balance equation）

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} (C_x \cdot N) + \frac{\partial}{\partial y} (C_y \cdot N) + \frac{\partial}{\partial \sigma} (C_\sigma \cdot N) + \frac{\partial}{\partial \theta} (C_\theta \cdot N) = \frac{S}{\sigma}$$

ここに C_x 、 C_y 、 C_θ 、 C_σ は各空間における伝播速度であり、次式で表されます。

$$C_x = C_g \cdot \cos \theta + U$$

$$C_y = C_g \cdot \sin \theta + V$$

$$C_\theta = \frac{\sigma}{\sinh 2kh} \left(\sin \theta \frac{\partial h}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \cos \theta \cdot \sin \theta \frac{\partial U}{\partial x} - \cos^2 \theta \cdot \frac{\partial U}{\partial y} + \sin^2 \theta \cdot \frac{\partial V}{\partial x} - \sin \theta \cdot \cos \theta \frac{\partial V}{\partial y}$$

$$C_\sigma = \frac{k\sigma}{\sinh 2kh} \left(\frac{\partial h}{\partial t} + U \frac{\partial h}{\partial x} + V \frac{\partial h}{\partial y} \right) - C_g \left(k \cos^2 \theta \cdot \frac{\partial U}{\partial x} + k \cos \theta \cdot \sin \theta \cdot \frac{\partial V}{\partial x} + k \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta \cdot \frac{\partial U}{\partial y} + k \sin^2 \theta \cdot \frac{\partial V}{\partial y} \right)$$

ここに、 C_g は群速度、 U 、 V は成分流速、 h は水深、 k は波数です。

基礎式左辺は、波の浅水変形および屈折を定式化したものであり、基礎式右辺のエネルギーソース項 S は次式で表されます。

$$S = S_{in} + S_{ds} + S_{bf} + S_{br} + S_{n3} + S_{n4}$$

ここに、 S_{in} は風から波へのエネルギー輸送項、 S_{ds} は白波砕波によるエネルギー消散項、 S_{bf} は海底摩擦によるエネルギー消散項、 S_{br} は地形性砕波によるエネルギー消散項、 S_{n3} は 3 波共鳴非線形相互作用によるエネルギー輸送項、 S_{n4} は 4 波共鳴非線形相互作用によるエネルギー輸送項です。

一般的な波浪変形計算と同様に、波の浅水変形、屈折、砕波、回折および反射を考慮します。

有義波高 $H_{1/3}$ は、以下の関係式から求めます。

$$H_{1/3} = 4 \sqrt{\int \int E(\omega, \theta) d\omega d\theta}$$

(c) 計算条件

a) 計算領域

流れの予測モデルと同様に、大領域から小領域までの5領域の計算範囲を設定しました。

b) 計算格子間隔

流れの予測モデルと同様に、第1領域は4050m間隔、第2領域は1350m間隔、第3領域は450m間隔、第4領域は150m間隔、第5領域は50m間隔を設定しました。

c) 水深条件

流れの予測モデルと同一の資料をもとに水深データを作成しました。

d) 潮位条件

以下の3ケースを設定しました。

- ・ 朔望平均満潮位 (HWL) (=D. L. +2.35m)
- ・ 平均潮位 (MSL) (=D. L. +1.20m)
- ・ 朔望平均干潮位 (LWL) (=D. L. +0.00m)

e) スペクトル分割数

周波数スペクトル及び方向関数の条件を表-6.9.23に示します。

表-6.9.23 周波数スペクトル及び方向関数

項目	設定内容	備考
周波数スペクトル	ジョンスワップ型 ($\gamma=1.0$)	
波の周波数分割数	20	0.04Hz~1.0Hz
方向関数	SWAN型方向関数	
波の方向分割数	90	0~360°を4°刻み

(d) モデルの妥当性の検討

沖から対象事業実施区域周辺に伝播する波は、海底地形の影響を受けて複雑な波高分布となります。再現目標は対象事業実施区域周辺の波高分布とし、現地観測結果の中から波高が最も高い波浪を再現目標に設定しました。

a) 波浪条件

現況再現の検証には、夏季（令和3年8～9月）及び冬季（令和3年12月～令和4年1月）の波浪調査結果を用いました。波浪調査地点を図-6.9.54に示します。

検証波浪（入射波条件）と風況条件について表-6.9.24に示すとおりに設定しました。なお、検証波浪の波浪条件（波高、周期及び波向）は、気象庁の沿岸波浪実況図より地点 Q（薩摩半島沖）の波浪から条件を設定しました。参考として、図-6.9.53に示す現地観測期間中の地点 Q（薩摩半島沖）と各観測地点の波高及び周期の相関関係を図-6.9.55～図-6.9.64に示します。各観測地点と地点 Q（薩摩半島沖）の波浪の相関は比較的高いことを確認しています。また、風況条件（風速・風向）は、流れの計算と同様に気象庁の種子島の観測結果より条件を設定しました。

表-6.9.24 検証波浪（入射波条件）及び風況条件(地点 Q（薩摩半島沖）)

No.	対象波浪 の観測日時	波浪条件			風況条件		備考
		波高 (m)	周期 (s)	波向 (方位)	風速 (m)	風向 (方位)	
1	2021/9/17 21:00	3.70	9.0	W	12.4	WSW	夏季 (台風 14 号時)
2	2021/12/17 21:00	4.70	8.1	NW	15.4	NNW	冬季 (低気圧)

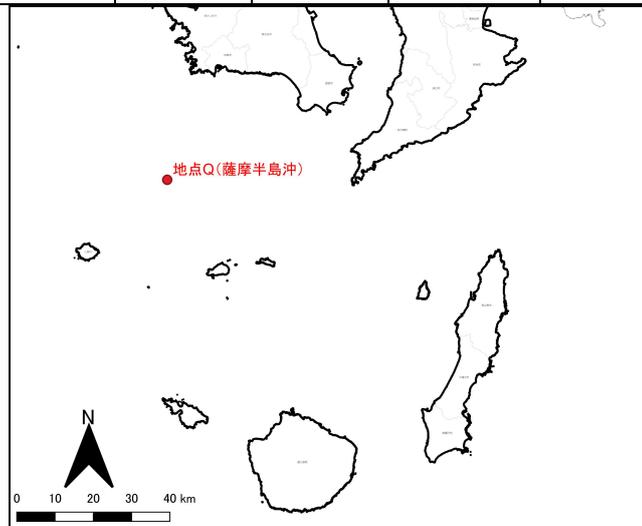


図-6.9.53 地点 Q（薩摩半島沖）の位置図

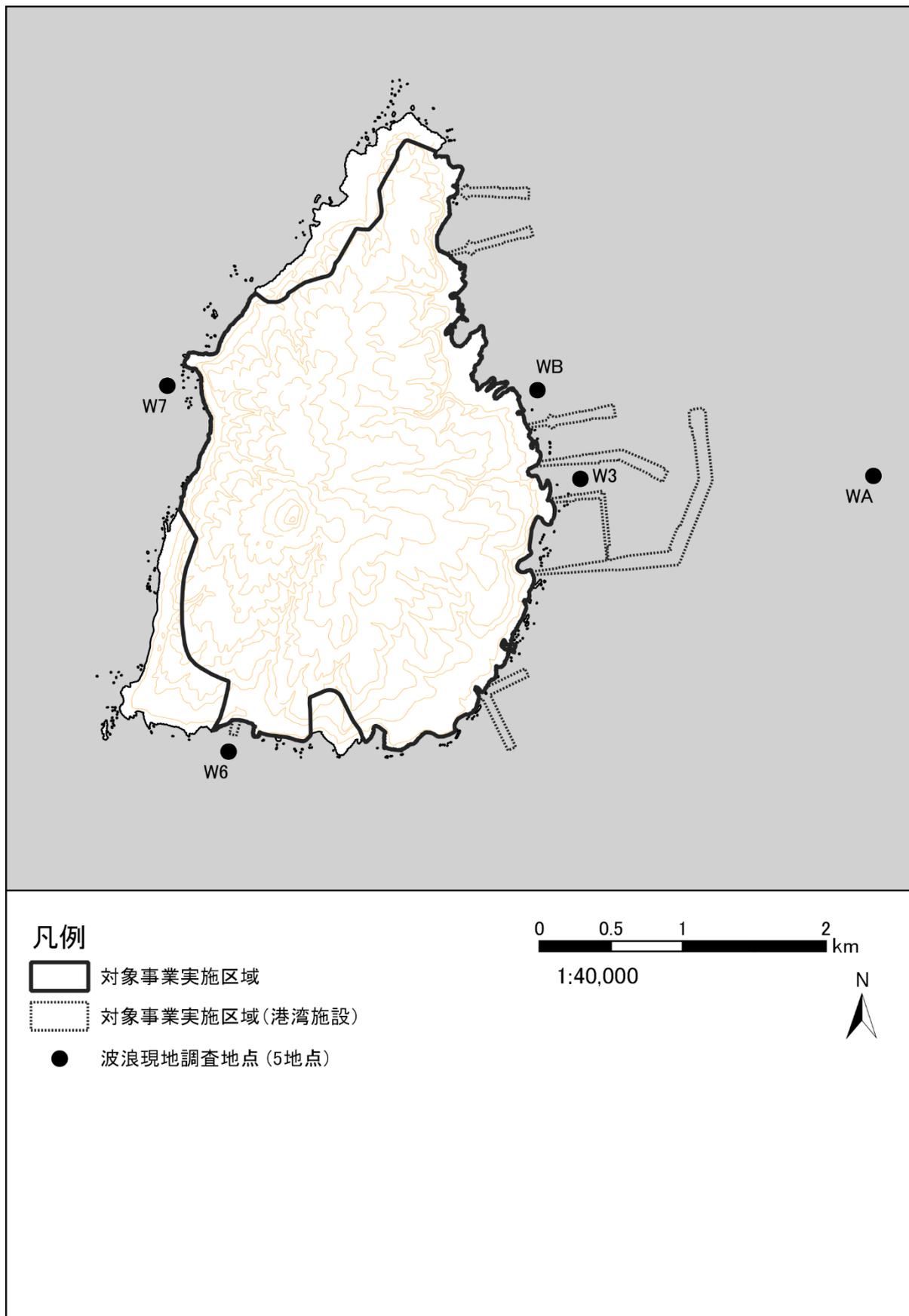
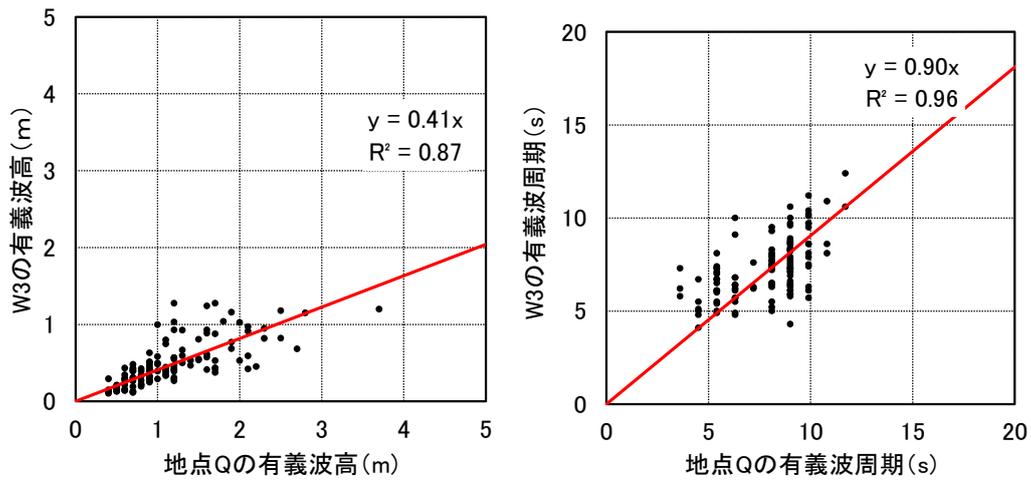
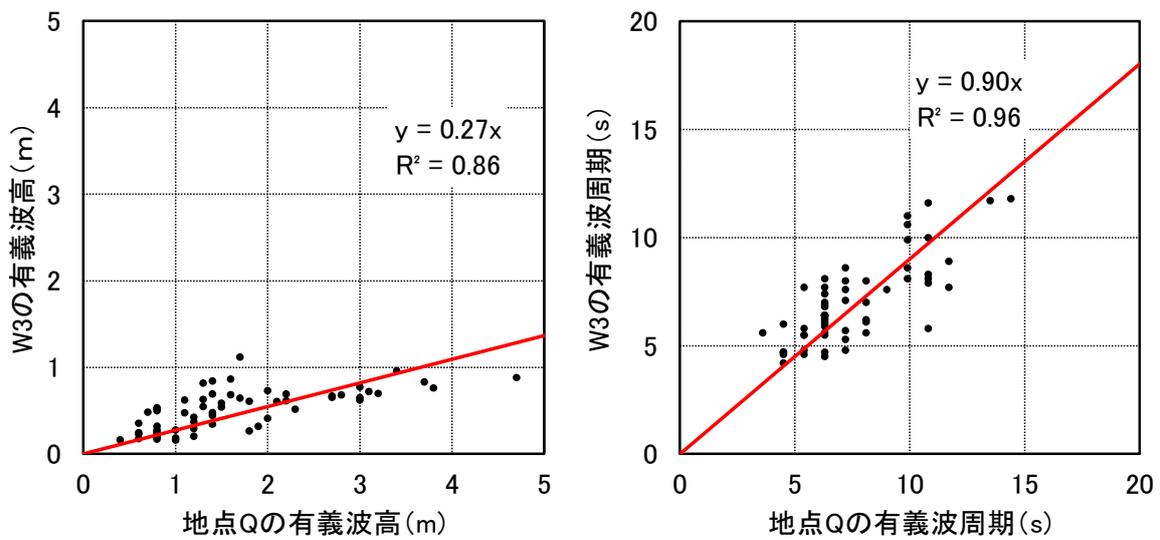


図-6.9.54 波浪観測地点



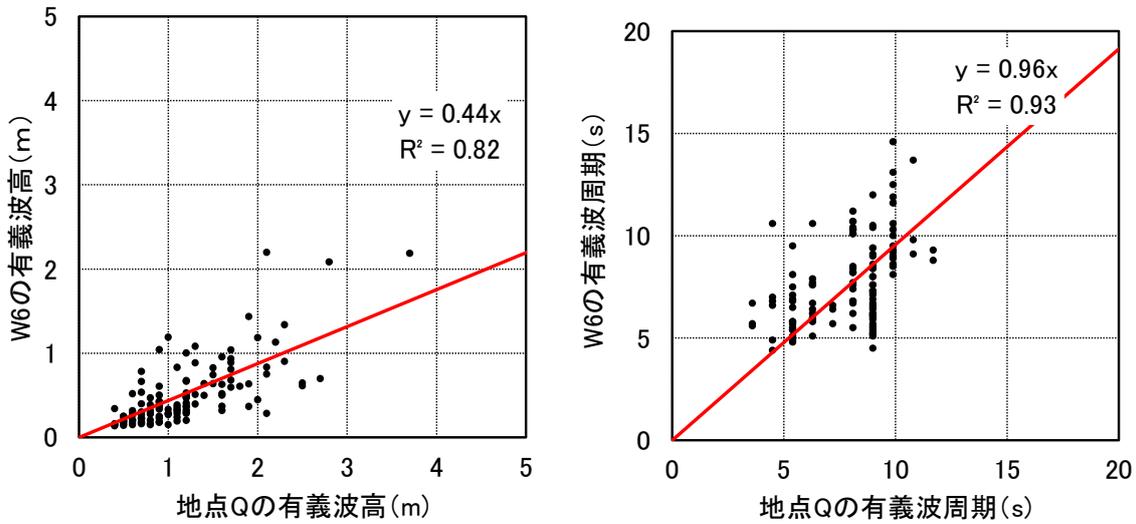
【解析期間：2021/8/16～2021/10/19（夏季）】

図-6.9.55 W3 と地点 Q（薩摩半島沖）の波浪の相関図（左図：有義波高、右図：有義波周期）



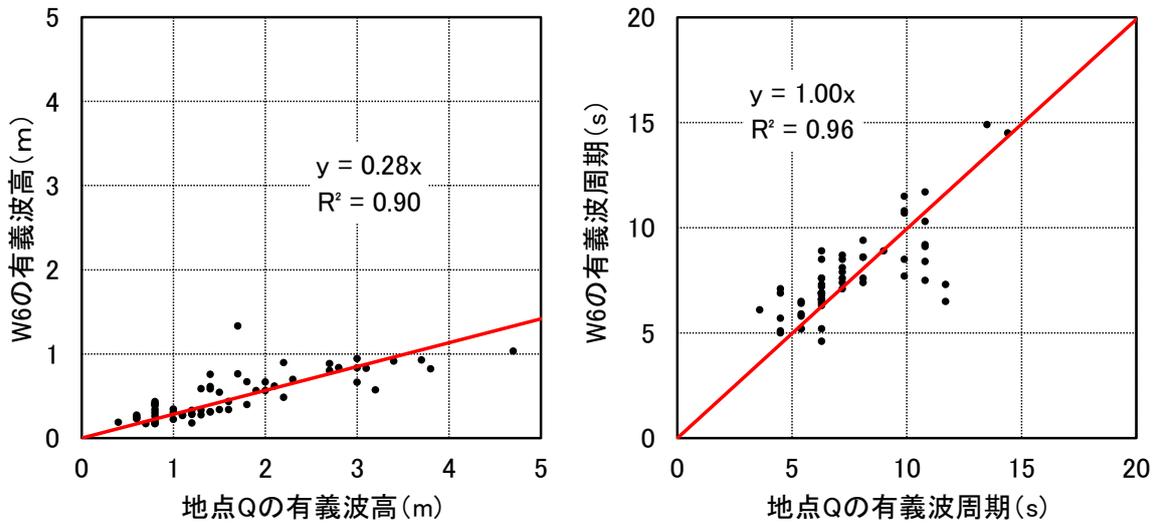
【解析期間：2021/12/4～2022/1/2（冬季）】

図-6.9.56 W3 と地点 Q（薩摩半島沖）の波浪の相関図（左図：有義波高、右図：有義波周期）



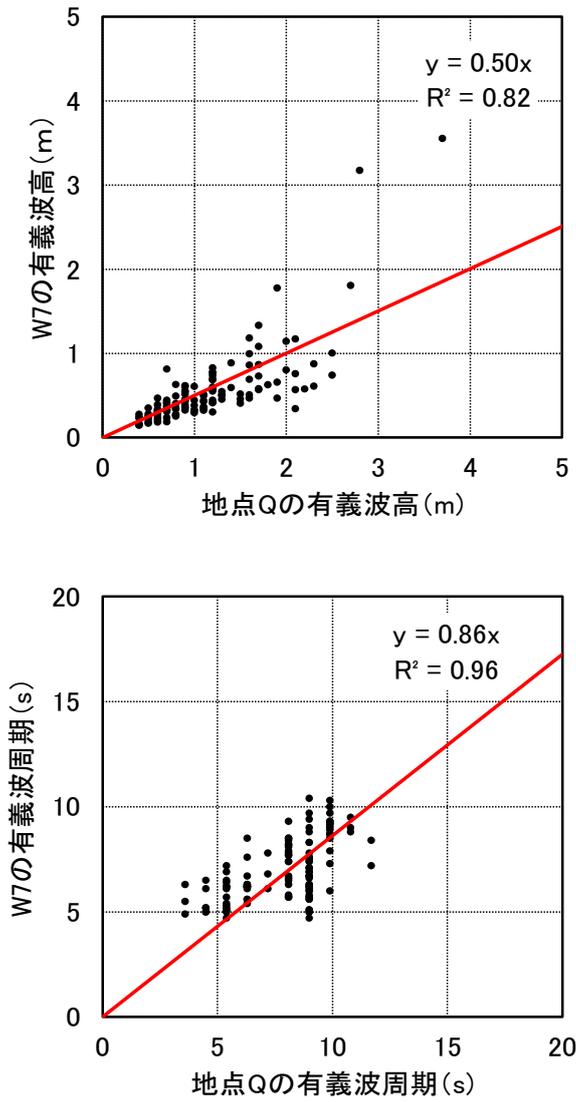
【解析期間：2021/8/16～2021/10/19（夏季）】

図-6.9.57 W6 と地点 Q（薩摩半島沖）の波浪の相関図（左図：有義波高、右図：有義波周期）



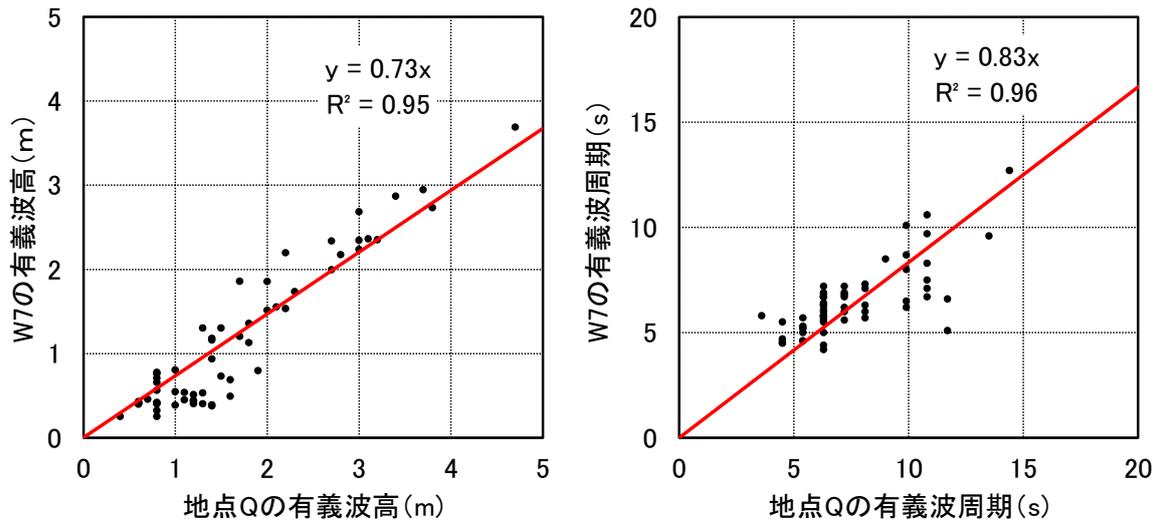
【解析期間：2021/12/4～2022/1/2（冬季）】

図-6.9.58 W6 と地点 Q（薩摩半島沖）の波浪の相関図（左図：有義波高、右図：有義波周期）



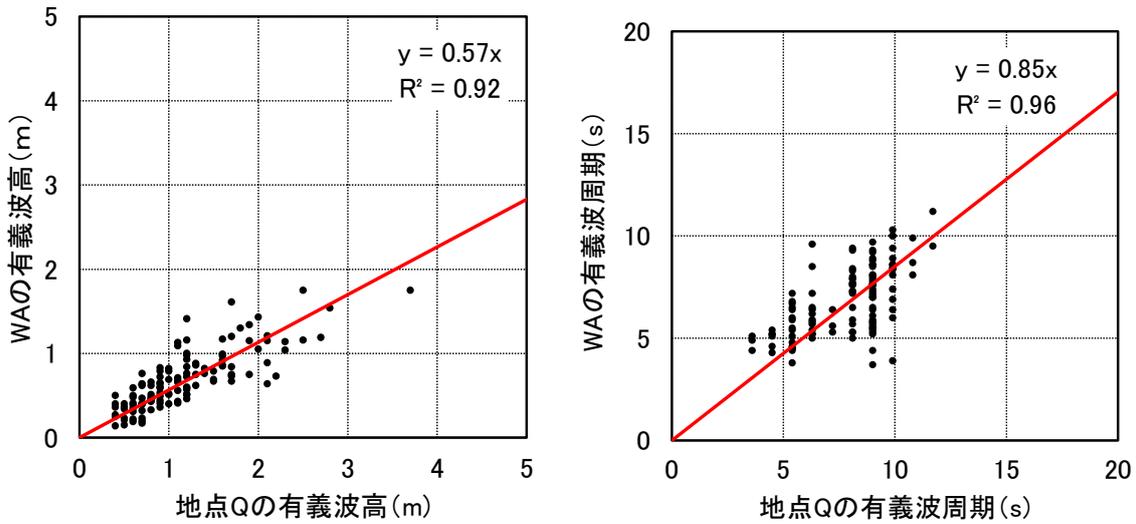
【解析期間：2021/8/16～2021/10/19（夏季）】

図-6.9.59 W7 と地点 Q（薩摩半島沖）の波浪の相関図（左図：有義波高、右図：有義波周期）



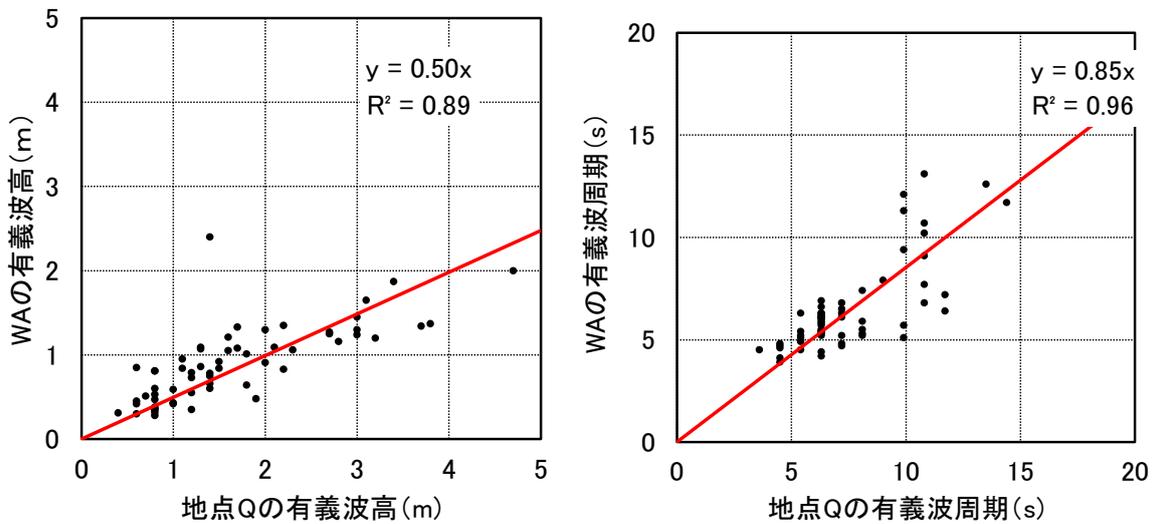
【解析期間：2021/12/4～2022/1/2（冬季）】

図-6.9.60 W7 と地点 Q（薩摩半島沖）の波浪の相関図（左図：有義波高、右図：有義波周期）



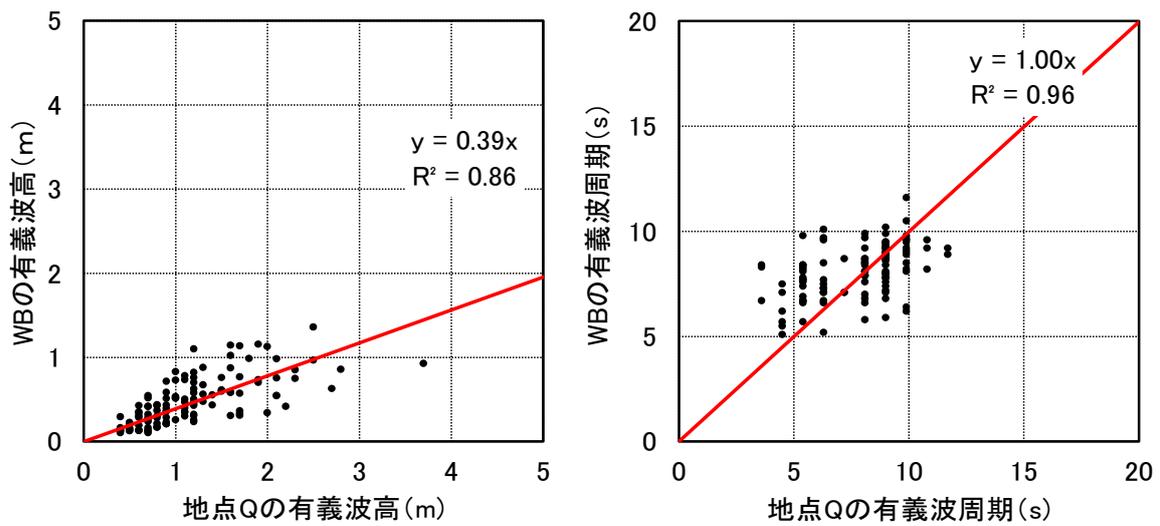
【解析期間：2021/8/16～2021/10/19（夏季）】

図-6.9.61 WA と地点 Q（薩摩半島沖）の波浪の相関図（左図：有義波高、右図：有義波周期）



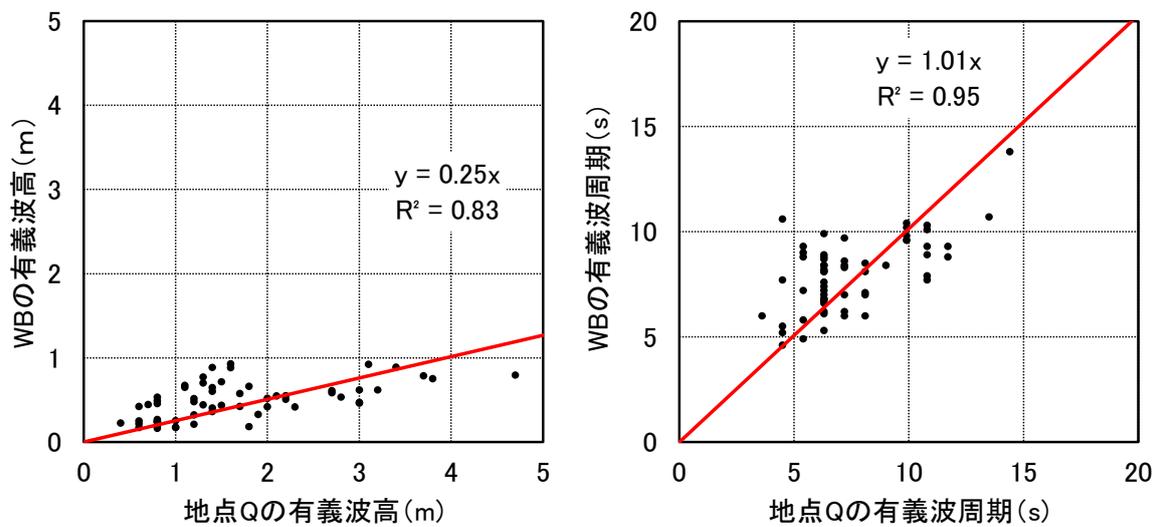
【解析期間：2021/12/4～2022/1/2（冬季）】

図-6.9.62 WA と地点 Q（薩摩半島沖）の波浪の相関図（左図：有義波高、右図：有義波周期）



【解析期間：2021/8/16～2021/10/19（夏季）】

図-6.9.63 WB と地点 Q（薩摩半島沖）の波浪の相関図（左図：有義波高、右図：有義波周期）



【解析期間：2021/12/4～2022/1/2（冬季）】

図-6.9.64 WB と地点 Q（薩摩半島沖）の波浪の相関図（左図：有義波高、右図：有義波周期）