

当該参考資料は、「沖縄県沿岸域における流況シミュレーションガイドライン」（平成27年3月 沖縄県環境部）に示す流況シミュレーションの基本的考え方の適用例として、平成24年度から26年度に実施した「サンゴ礁地形に適した潮流シミュレーションモデル構築事業」における現地調査内容およびシミュレーション内容について示すものです。

## 1. 業務概要

### 1.1 事業の背景

沿岸域での開発事業の実施に際しては、流況シミュレーションを基に環境への影響が予測されているが、沖縄県の沿岸域は外洋の流れの影響を受けやすく、また、サンゴ礁地形により複雑な流れが形成されるなど、本県の沿岸域の地形特性により流れが特徴付けられている。

本県の沿岸域の環境を適切に保全する上では、上述の流れの特性を踏まえた上で、沿岸域での開発事業に伴う流況の変化を精度良く予測するための方策について検討を行う必要がある。

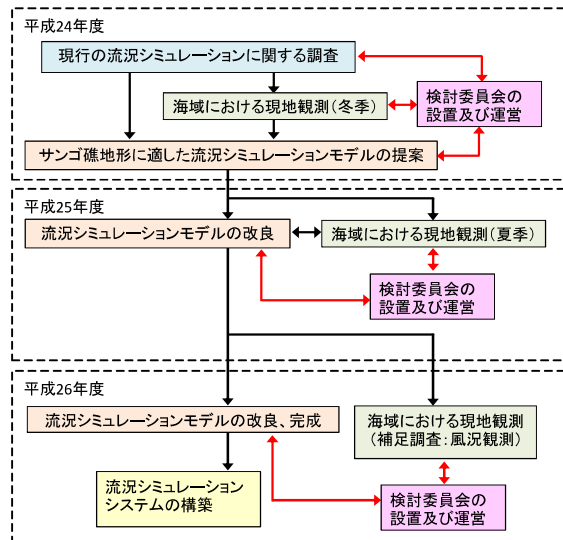
### 1.2 事業の目的

沖縄県の地形特性、流況特性を把握し、サンゴ礁地形に適したより精度の高い再現・予測を可能とする流況シミュレーションモデルの構築を目的とし、モデル構築にあたり、再現性を検証するための現地データを取得するための現地観測手法について検討する。

### 1.3 事業の実施スケジュール

事業は、平成24年度～26年度までの3ヶ年間実施し、併せて、業務成果に関する審議を行う検討委員会を開催した。

### 1.4 事業全体の実施フロー



## 2. 流況シミュレーションモデルの構築方針

### 2.1 流況シミュレーションモデル構築における着眼点

サンゴ礁海域の地形特性・流動特性を踏まえ、次の点に留意したシミュレーションモデルの構築を行う。

- ①サンゴ礁が造成する複雑な地形を表現することが可能なモデルである。
- ②水深の小さいサンゴ礁域と水深の大きい外洋域が隣接する。
- ③サンゴ礁域と外洋域の境界部である礁斜面は、水深勾配が急峻である。
- ④サンゴ礁で形成される海岸（礁池内）は、波の打込み等によりリーフギャップに向くリーフカレントが生じる。
- ⑤河川や水路が隣接する箇所では、淡水流入による密度流や塩分変動が生じる。
- ⑥黒潮（外洋の流れ）による影響を受けやすい。
- ⑦水深の小さい箇所では、日射による水温変動が大きく、水温差（密度差）による流れが生じる。

モデル構築の留意点を、図2.1のサンゴ礁海域の地形特性・流動特性の模式図にまとめる。

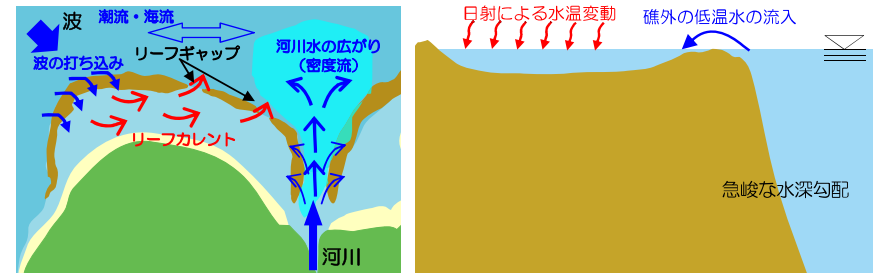


図2.1 サンゴ礁海域の地形特性・流動特性の模式図

### 2.2 流況シミュレーションモデルの構成

サンゴ礁海域の特性を踏まえた流況シミュレーションモデルの構築手順を図2.2に示す。また、外力条件及びモデルにより計算する流動成分等をまとめる。

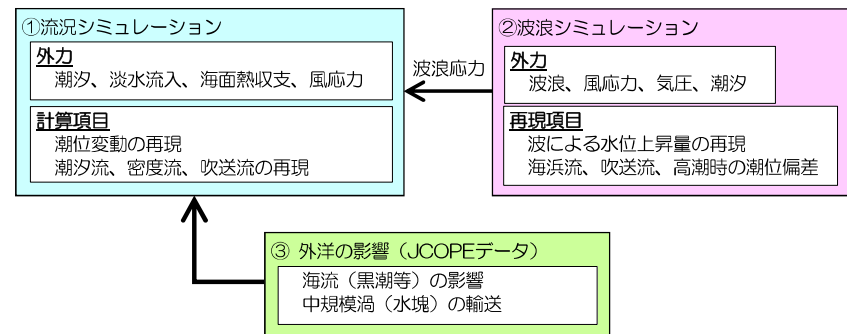


図2.2 流況シミュレーションの構成

### 3. モデル海域の選定

流況シミュレーションモデルの構築にあたり、沖縄海域の地形特性を代表するモデル海域を3海域選定し、これら3海域について、現地観測手法及び流況シミュレーションによる計算手法をまとめる。

- ①那覇港：防波堤、埋立地など人工港湾施設が存在する海域であり、今後も港湾事業による防波堤の建設や沿岸域開発事業の計画があり、環境影響評価の実施が想定される海域。
- ②浦添海岸：天然のサンゴ礁海域であり、沖方向にサンゴ礁が張り出している海域。
- ③白保海岸：天然のサンゴ礁海域であり、沖側に礁縁部、その内側に礁池が存在する海域。北部に轟川、西部に宮良川があり、密度流も重要となる。

### 4. 現地調査の実施概要

#### 4.1 流動調査の項目

流況シミュレーションモデルの構築・改良に必要な流動特性を把握することを目的とし、モデル海域における現地調査を実施した。調査時期は、平成24年度冬季（12～1月）と平成25年度夏季（7～8月）の2回行い、季節的な違いを把握した。調査項目を表4.1にまとめる。

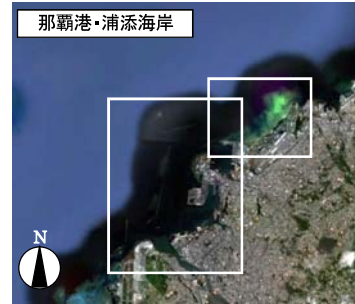
表 4.1 現地調査項目の一覧表

	調査種類	調査項目	備考
平成24年度と共通項目	時系列調査	波浪	●波高計による波高・周期・波向
		流速	●ADCP、電磁流速計による流向・流速
		水温	●海底上の水温（波高計や流速計に併せて設置）
	鉛直分布調査	水温・塩分	●国場川、宮良川の河口部に設置
			●上層下層の2層
水位勾配観測（白保海岸）	水位	●白保海岸礁池内の複数地点 ●水圧計、波高計による水位変動	
河川流量観測	河川流量	●国場川、宮良川を対象に実施 ●超音波ドップラー式水位流速計による連続観測	
平成25年度の追加項目	水温多層係留調査（那覇港、白保海岸）	水温	●水温計を多層（鉛直2mピッチ）で30昼夜係留 ●那覇港、白保海岸において実施
	白保海岸深浅測量	水深・地盤高	●測量間隔25～50m（礁池内：50m、礁縁部・渡地：25m）
	外洋流速調査	流速	●外洋域にADCPを設置
	ADCP曳航調査	流速	●外洋域、沿岸域の流動の空間分布を把握

### 4.2 調査地点

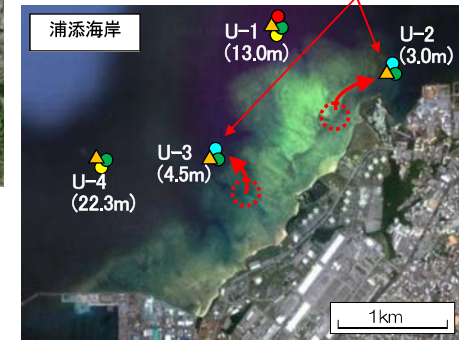
那覇港・浦添海岸の調査範囲、調査地点及び調査項目を図4.1に、白保海岸を図4.2にまとめる。

【那覇港・浦添海岸】



調査項目	観測期間
波浪観測	平成25年7月19日～平成25年8月17日
流況観測	平成25年7月19日～平成25年8月17日
水温観測	平成25年7月19日～平成25年8月17日
水温・塩分の鉛直分布観測	1回目：平成25年7月18日
	2回目：平成25年7月31日
	3回目：平成25年8月19日

夏季は干出しない箇所に地点をずらした。



夏季はN-1に2mピッチで水温計を係留した。



時系列調査（7月～8月、30昼夜）

- ：流速（ADCP）
- ：流速（電磁流速計）
- ：波浪
- ：水温（海底直上）
- ：河口部水温、塩分（上層・下層）
- ：水温多層係留調査（鉛直2mピッチ）

鉛直分布調査（0.5m間隔）

- ▲：水温・塩分

※時系列調査の測器設置時、点検時、回収時に実施

調査項目	観測期間
波浪観測	平成25年7月19日～平成25年8月17日
流況観測	平成25年7月19日～平成25年8月17日
水温観測	平成25年7月19日～平成25年8月17日
河口部の水温・塩分観測	平成25年7月19日～平成25年8月17日
水温・塩分の鉛直分布観測	1回目：平成25年7月15日、16日
	2回目：平成25年8月3日
	3回目：平成25年8月18日、19日
河川流量観測	平成25年7月15日～平成25年8月24日

図 4.1(1) 那覇港・浦添海岸の沿岸における調査地点（カッコ内は設置時の実測水深）

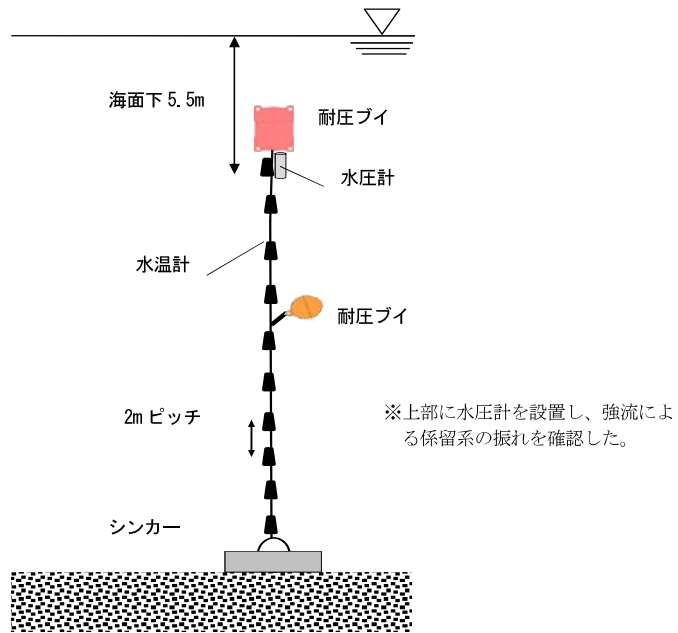


図 4.1(2) N-1 における水温計の係留方法

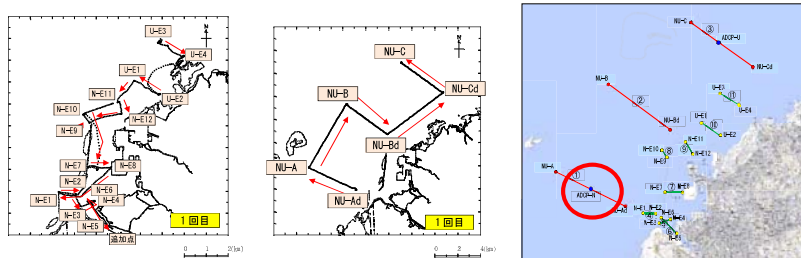
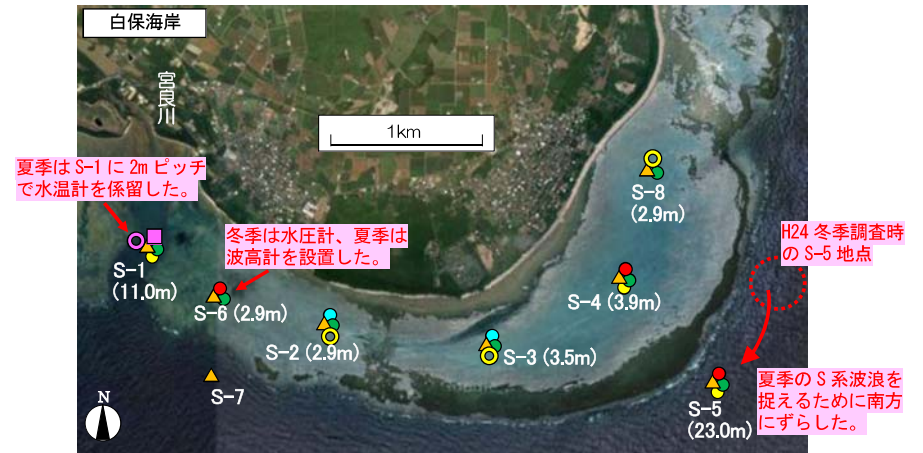


図 4.1(3) 那覇港・浦添海岸の外洋における調査地点（カッコ内は設置時の実測水深）

【白保海岸】



時系列調査（7月～8月、30昼夜）

- ：流速（ADCP）
- ：流速（電磁流速計）
- ：波浪
- ：水温（海底直上）
- ：河口部水温、塩分（上層・下層）
- ：水位（水圧計）
- ：水温多層係留調査（鉛直2mピッチ）

鉛直分布調査（0.5m間隔）

- ▲：水温、塩分
- ※時系列調査の測器設置時、点検時、回収時に実施

調査項目	観測期間
波浪観測	平成25年7月22日～平成25年8月20日
流況観測	平成25年7月22日～平成25年8月20日
水温観測	平成25年7月22日～平成25年8月20日
河口部の水温・塩分観測	平成25年7月22日～平成25年8月20日
水温・塩分の鉛直分布観測	1回目：平成25年7月20日、21日
	2回目：平成25年8月7日、8日
	3回目：平成25年8月25日、26日
河川流量観測	平成25年7月20日～平成25年8月28日
水位観測	平成25年7月22日～平成25年8月20日

図 4.2(1) 白保海岸の沿岸域における調査地点（カッコ内は設置時の実測水深）

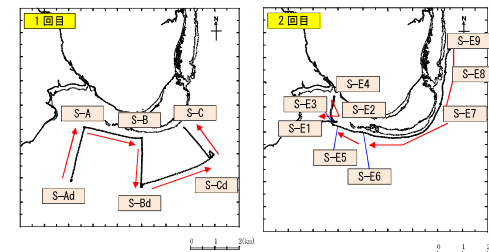


図 4.2(2) 白保海岸の外洋域における調査地点（カッコ内は設置時の実測水深）

### 4.3 現地調査結果とその解析例

現地調査結果とその解析例を以下に示す。

【那覇港 N-1 における水温変動】

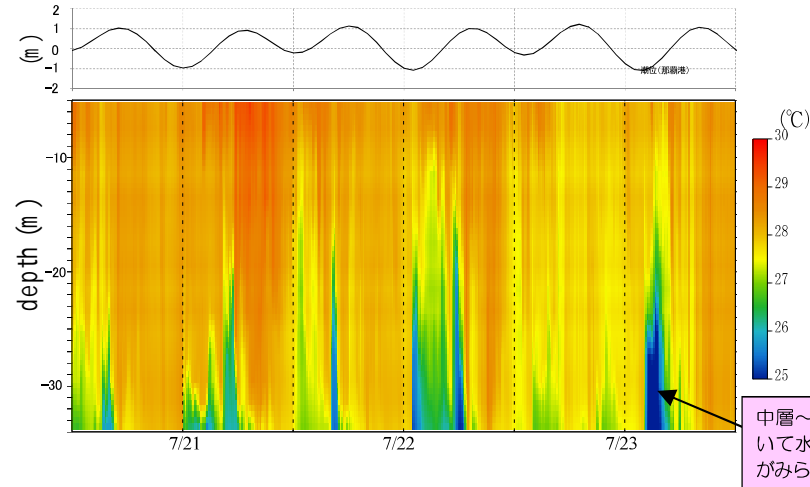


図 4.3(1) 那覇港 N-1 における水温計係留によって観測された大潮期の水温イソプレット (上段)

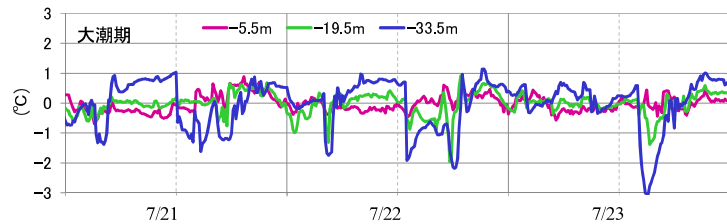


図 4.3(2) ハイパスフィルターによって 1 日以下の変動を抽出した N-1 の水温時系列 (上層、中層、下層)

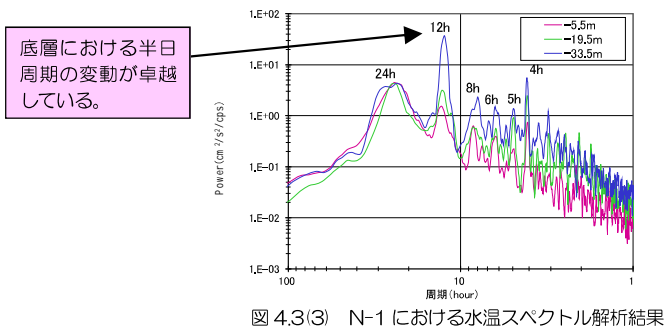


図 4.3(3) N-1 における水温スペクトル解析結果

【白保海岸礁池内における高波浪時の冬季、夏季の流動特性】

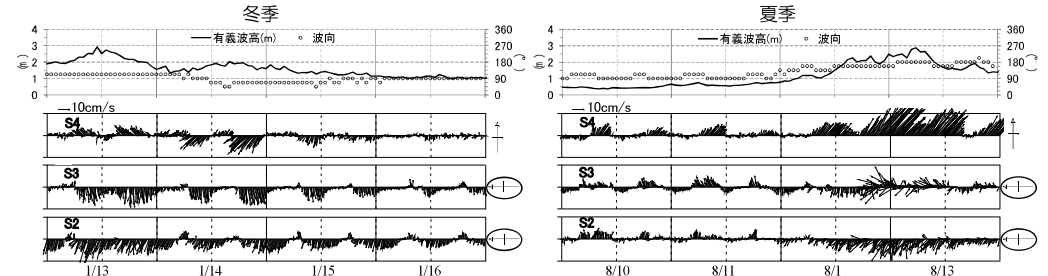


図 4.4(1) 礁外 S5 の波浪および礁内 S2, S3, S4 の流速時系列 (左: 冬季, 右: 夏季)

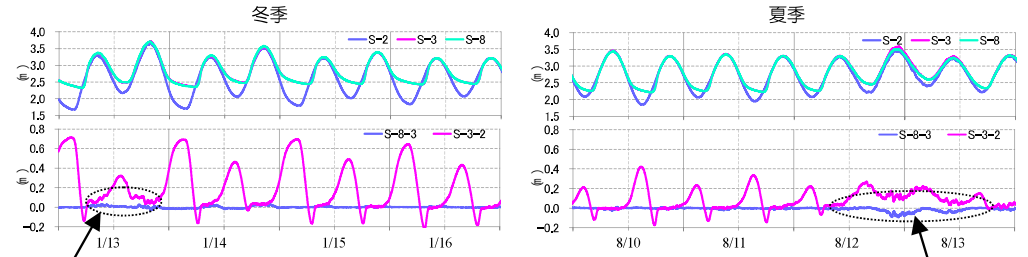


図 4.4(2) 礁池内 (S2, S3, S8) における水位変動と水位差 (左: 冬季, 右: 夏季)

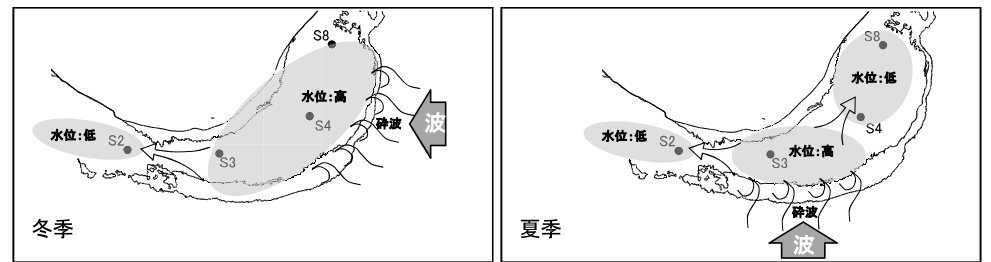


図 4.4(3) 白保海岸礁池内における高波浪時の冬季、夏季の流動特性模式図

#### 4.4 深浅測量

白保海岸は詳細な地形データがないため深浅測量を行い、図 4.3 の水深分布を作成した。

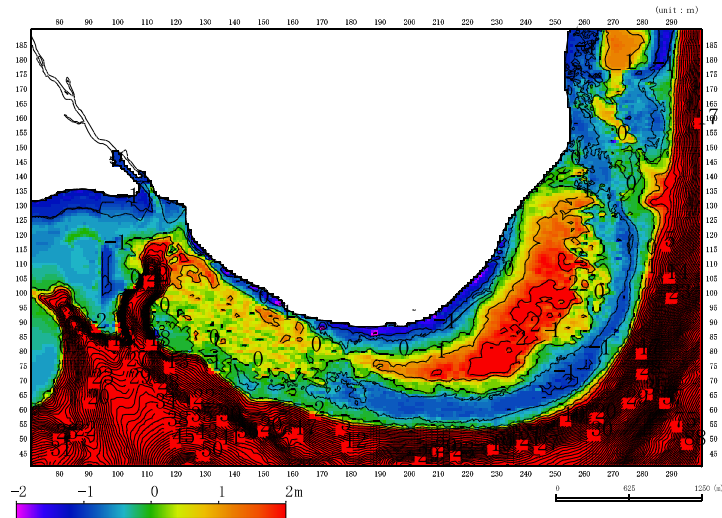


図 4.5 深浅測量結果を反映した水深データ (D.L.基準値)

#### 5. 流況シミュレーションモデルの提案

##### 5.1 流況シミュレーションモデルの概要

流況シミュレーションの概要を表 5.1 に、シミュレーションモデルが有する機能を外力条件の一覧を表 5.2 にまとめる。

表5.1 流況シミュレーションモデルの概要

項目	内容
使用モデル	<p>流況モデル</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2種の鉛直座標系を用いたハイブリッド座標系モデル</li> <li>広域と狭域を同時計算する多領域結合計算法</li> <li>礁縁部等の冠水・干出を考慮した移動境界計算法</li> <li>水平渦動粘性・渦拡散係数：スマゴリンスキー型</li> <li>鉛直渦動粘性・渦拡散係数：リチャードソン数依存型</li> </ul> <p>波浪モデル</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>気圧低下による吸い上げや強風による吹き寄せを表現できる高潮推算モデル</li> <li>エネルギー平衡方程式を基本方程式とする波浪推算モデル (SWAN)</li> </ul>
対象海域	那覇港、浦添海岸、白保海岸

表 5.2 外力条件の一覧

項目	目的	手法
潮汐	潮汐・潮流の再現・予測	全球潮汐モデル※1の結果を用いる。
風応力	吹送流の再現・予測	気象庁などの風データ観測値、GPVデータ等を用いる。
海面熱収支	日射などによる水温変動の再現・予測	気象庁の全天日射量などの観測値を参考にする。
河川流入	淡水流入による密度流の再現・予測	河川流量観測結果を用いる。
波浪応力	リーフカレントを再現・予測	推算値、波高計データなどを条件とした波浪変形計算を行い、入力条件データとして用いる。
外洋の影響	黒潮などの海流の影響を再現・予測	JCOPEデータ※2を境界条件として設定する。

※1 Matsumoto, K., T. Takanezawa and M. Ooe (2000) : Ocean tide models developed by assimilating TOPEX/POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model : A global model and a regional model around Japan, *Journal of Oceanography*, Vol.56, pp.567-581.

※2 Miyazawa, Y., and T. Yamagata, 2003: The JCOPE ocean forecast system, First ARGO Science Workshop, November 12-14, 2003, Tokyo, Japan.  
<http://www.jamstec.go.jp/frsgc/jcope/htdocs/topics/topics031112/poster031112.pdf>

### 5.2 流況シミュレーションの領域構成

流況シミュレーションモデルの計算領域を図5.1に、水平格子サイズを表5.3に示す。

再現性等の理由によりさらに細かい格子領域が必要である場合、25m程度の格子領域を追加することも検討し、計算所要時間との調整により決定する。

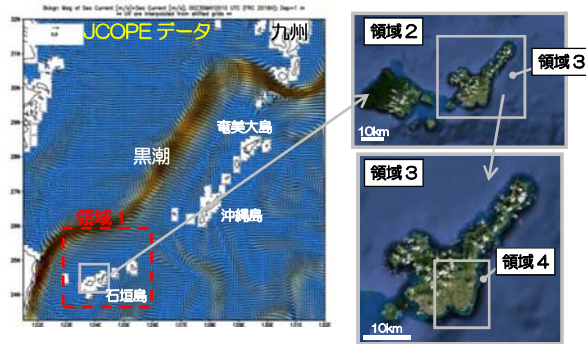
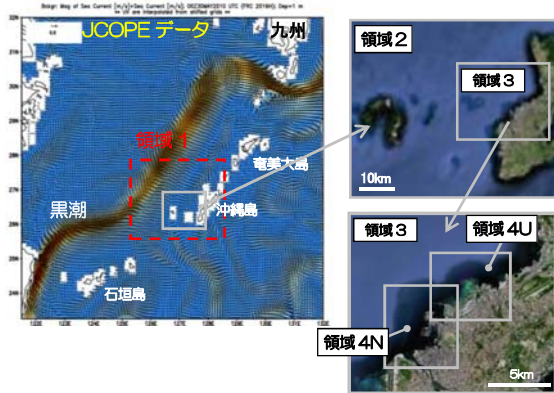


図5.1 シミュレーションにおける計算領域

表5.3 水平格子サイズ

	領域 1	領域 2	領域 3	領域 4,N,4U
水平格子サイズ	4,000m	1,000m	200m	50m

### 5.3 流況シミュレーションモデルの鉛直層の構成

図5.2 にハイブリッド座標系の模式図を示す。

流況シミュレーションモデルの鉛直座標系は、Z座標とシグマ座標を組み合わせたハイブリッド座標系とする。

鉛直総分割数は海域の水温、塩分層や流速の鉛直構造の再現性を勘案して設定する。

外洋の海流の影響を考慮した鉛直層分割の例を図5.3に示す。

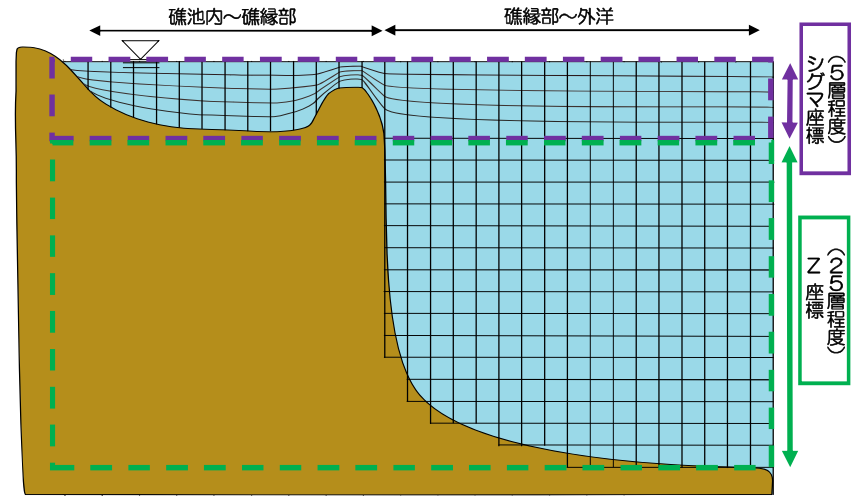


図5.2 ハイブリッド座標系の模式図

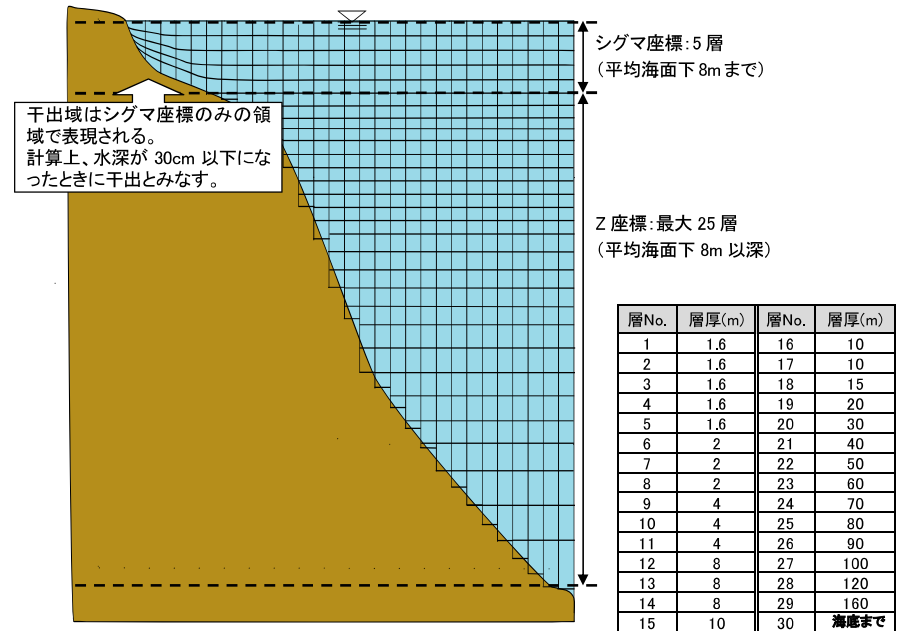


図5.3 外洋の流れを考慮する場合に適用した鉛直層分割の設定例