

操船リスクシミュレータに おける波浪状況の生成と 船体運動

運航・物流系

福戸淳司、三宅里奈、疋田賢次郎

はじめに

海洋波の表現について

シミュレータの海洋波の表現機能
画像システムでの表現
運動計算と波の表現

波浪中の運動のシミュレーション例

まとめ

はじめに

重点研究：実海域再現水槽と操船リスクシミュレータを融合した
海難事故等再現・解析技術の高度化に関する研究

操船シミュレータと実海域再現水槽とのリンク

多種多様な自然環境や交通環境下の操船の再現
事故時の状況把握

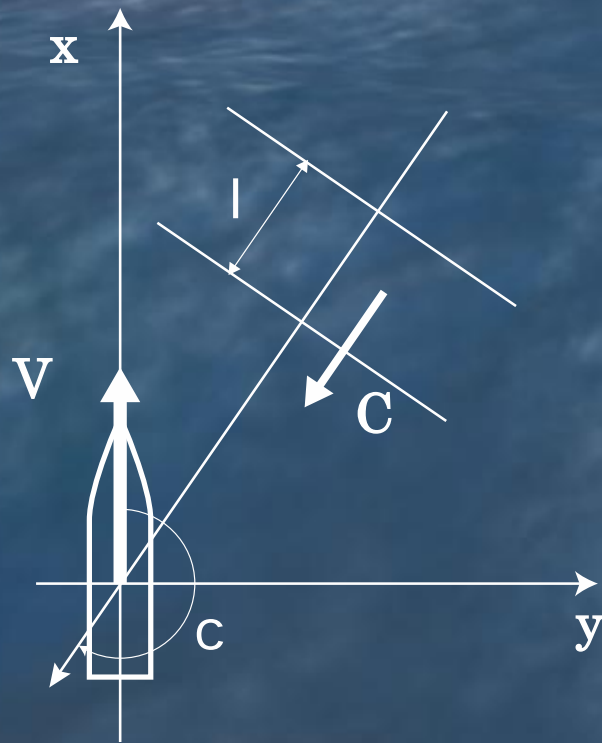
原因の究明・安全対策の検討

荒天時の大洋航行や波浪中の海洋開発作業等に関わる
システムの検討時の事前評価

多様な自然環境条件の下、（波浪、風、潮流、浅水等）
多様な操船条件での、（幅広いスピードレンジ、定点保持等）
リアルタイムでの波浪と船体運動の表現技術の実現

海洋波の表現について

$$Z = \sum_{i=0}^n \frac{1}{2} h_i \sin(2\pi f_i t + \frac{(2\pi f_i)^2}{g} (x \cos(\chi_i) + y \sin(\chi_i)) + \epsilon_i)$$



座標系

- Z: 波高(m)
- n: 成分波の分割数
- h_i : 成分波の方振幅(m)
- f_i : 成分波の周波数(Hz)
- t: 計算開始からの経過時間(s)
- g: 重力加速度(m/s²)
- X: 南北方向位置座標(m)
- Y: 東西方向位置座標(m)
- χ_i : 成分波の波向き(rad)
- ϵ_i : 成分波の位相(rad)

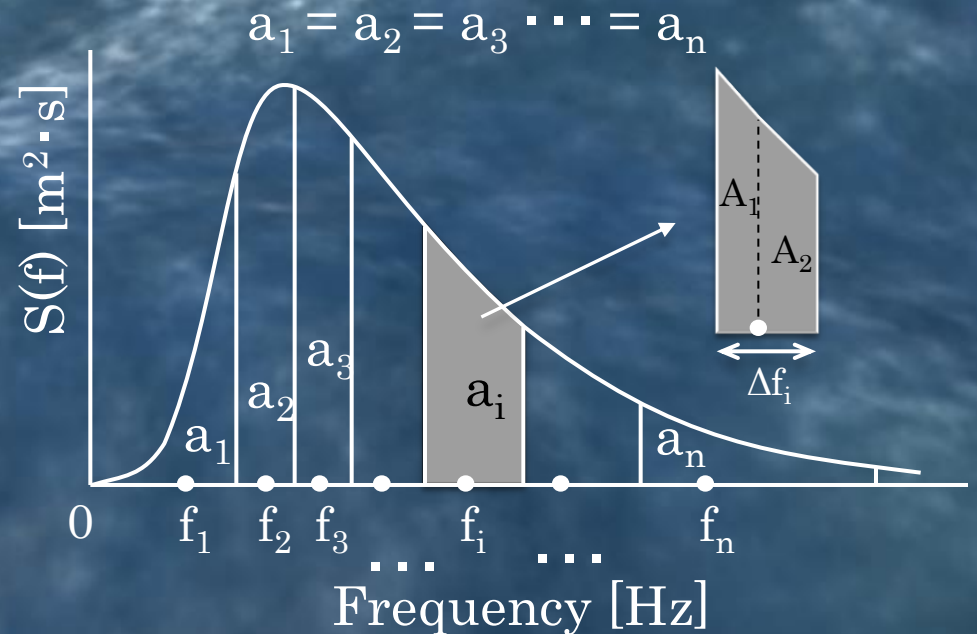
波の表現

成分波の周波数と振幅の計算

$$Z = \sum_{i=0}^n \frac{1}{2} h_i \sin(2\pi f_i t + \frac{(2\pi f_i)^2}{g} (x \cos(\chi_i) + y \sin(\chi_i)) + \epsilon_i)$$

成分波の周波数 f_i と
波振幅 h_i の計算手順

1. 波のスペクトルに基づく
成分波への分割と
周波数 f_i の設定



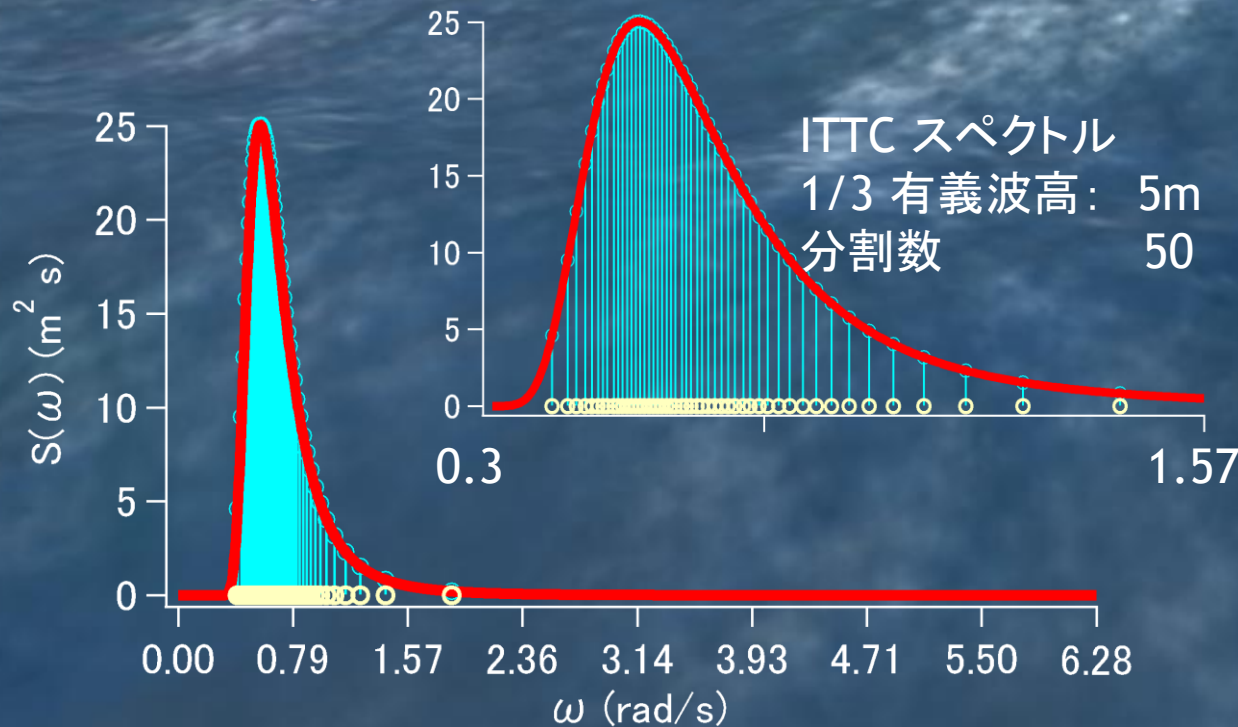
等エネルギー分割法による周波数の分割

分割法については、平山、宮里による「任意形状スペクトルによる多方向不規則波の造波法の提案」、港湾空港技術研究所報告 第48巻第2号、2009.6 を参照。

波の表現

成分波の周波数と振幅の計算

$$Z = \sum_{i=0}^n \frac{1}{2} h_i \sin(2\pi f_i t + \frac{(2\pi f_i)^2}{g} (x \cos(\chi_i) + y \sin(\chi_i)) + \epsilon_i)$$



成分波の各周波数

最小値: 0.406 [rad/s]

最大値: 1.871 [rad/s]

等エネルギー分割法による周波数の分割

波の表現

成分波の周波数と振幅の計算

$$Z = \sum_{i=0}^n \frac{1}{2} h_i \sin(2\pi f_i t + \frac{(2\pi f_i)^2}{g} (x \cos(\chi_i) + y \sin(\chi_i)) + \epsilon_i)$$

成分波の振幅は、波のスペクトルを用いて、以下の式として表現できる。

ここで、成分波の分割を等エネルギー分割法を用いたことにより、各成分波で共通の値となる。

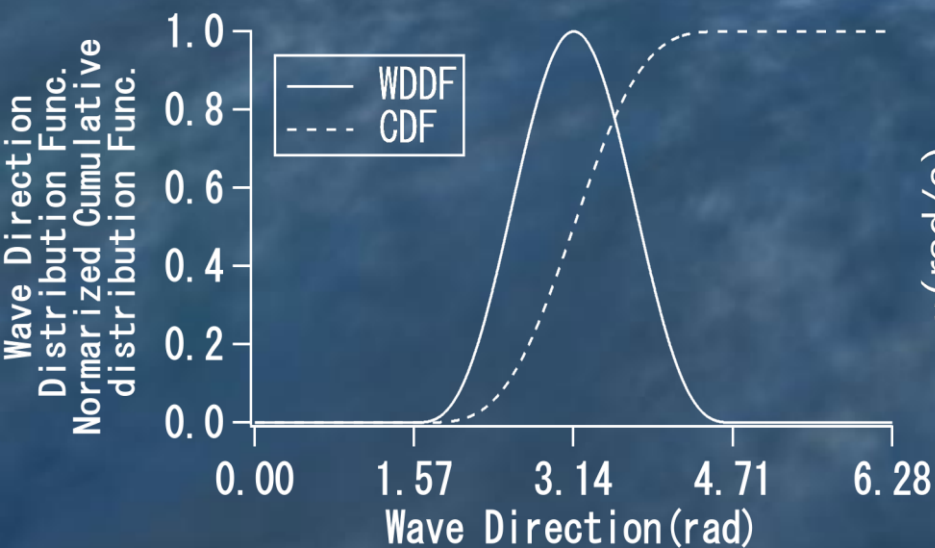
$$h_i = \sqrt{2S(\omega_i)\Delta\omega_i}$$

波の表現式

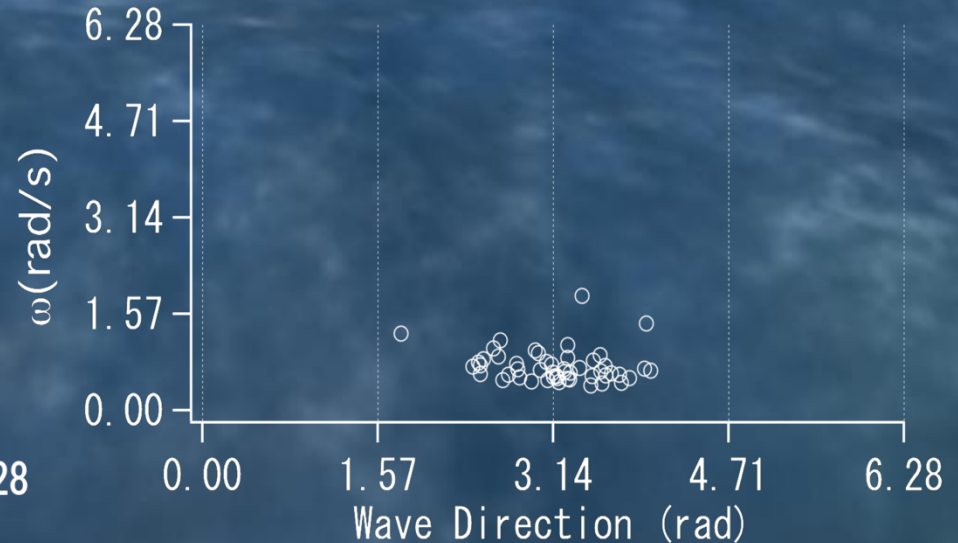
成分波の波向き χ_i の算定

$$Z = \sum_{i=0}^n \frac{1}{2} h_i \sin(2\pi f_i t + \frac{(2\pi f_i)^2}{g} (x \cos(\chi_i) + y \sin(\chi_i)) + \epsilon_i)$$

成分波の波向きは、波の方向分布関数に基づき、正規化した累積曲線を求め、乱数を対応することで求める。



Cosⁿ型方向分布関数



波向きの計算結果

波の表現式

成分波パラメータのデータ形式

$$Z = \sum_{i=0}^n \frac{1}{2} h_i \sin\left(2\pi f_i t + \frac{(2\pi f_i)^2}{g} (x \cos(\chi_i) + y \sin(\chi_i)) + \epsilon_i\right)$$

成分波番号	振幅 h_i (m)	角周波数 ω_i (rad/s)	波向き χ_i (rad)	位相差 ϵ_i (rad)
1	0.250058	0.0646875,	3.47495	5.65493
2	0.250058	0.0690625	3.57792	5.30411
3	0.250058	0.0715625	3.75071	2.30052
4	0.250058	0.0740625	3.18872	1.41016
5	0.250058	0.0759375	2.94437	4.97141
.
.
n-1	0.250058	0.225937	3.97062	0.637725
n	0.250058	0.297813	3.39641	2.80193

シミュレータ上の海洋波の表現機能

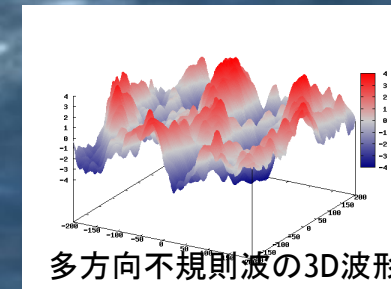
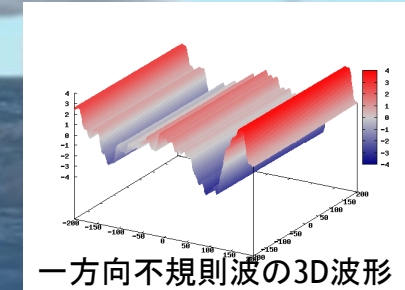
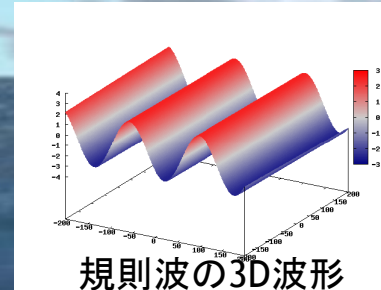
表現できる波の種類

規則波

1方向不規則波

多方向不規則波

ユーザ設定の不規則波



利用できる波のスペクトル

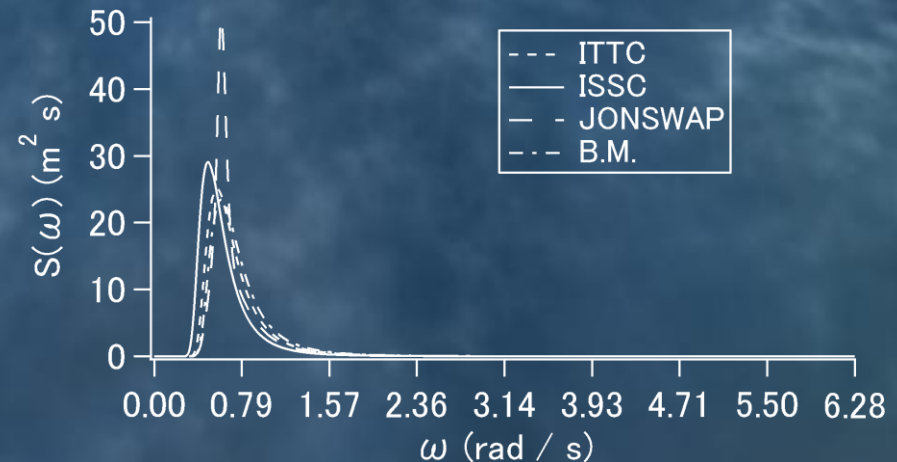
ITTC

ISSC

JONSWAP

Bretschneider-光易

ユーザ定義スペクトル



スペクトルの比較

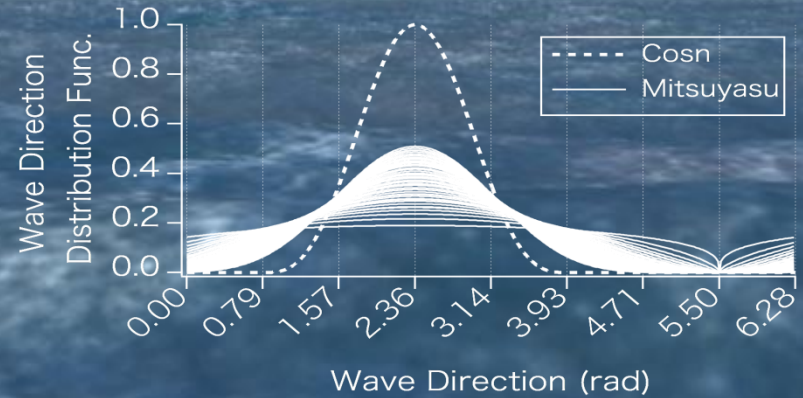
シミュレータ上の海洋波の表現機能

利用できる波の方向分布関数

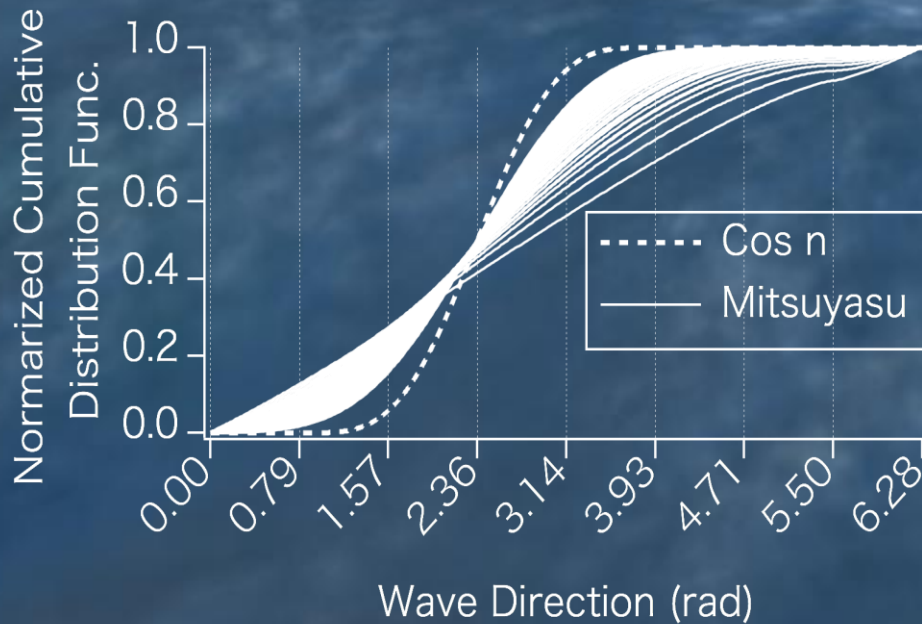
Cosⁿ型方向分布関数

光易型方向分布関数

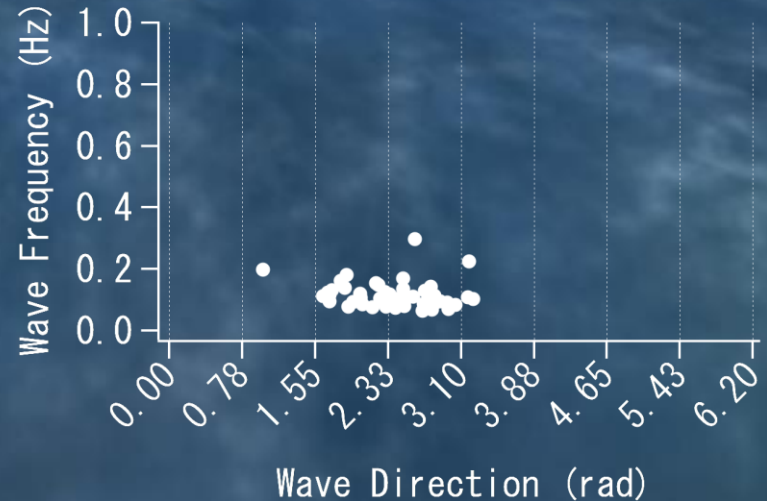
ユーザ定義方向分布関数



波方向135(deg)での波の方向分布関数



波方向135(deg)での正規化
累積波の方向分布関数



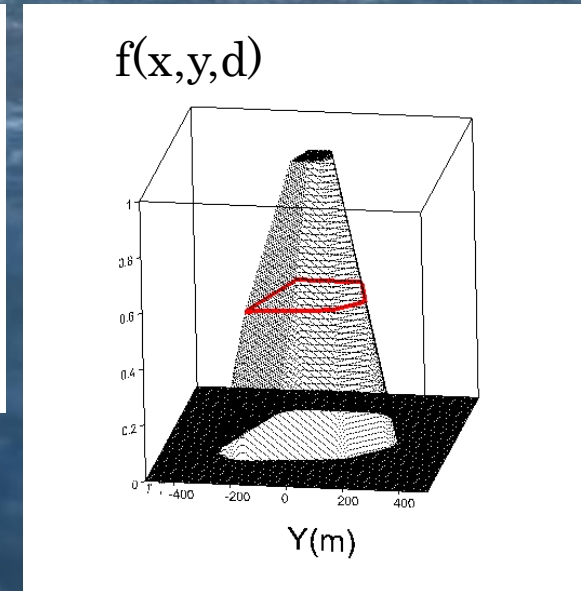
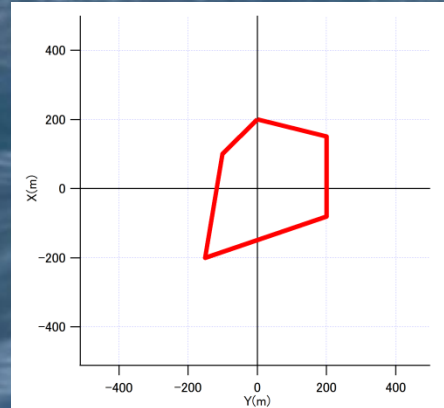
Cosⁿ型方向分布関数による
主要波方向135(deg)での波の
方向分布



シミュレータ上の海洋波の表現機能

任意の多角形で海域分割した
2つの海域での波を表現

2つの海域の成分波の振幅に
、重み関数を以下のとおり掛け
合わせ、2つの海域の波を表現
する。



成分波振幅 $h(x,y)$

$$= f(x,y,d) h_1 + (1 - f(x,y,d)) h_2$$

x, y : 位置座標、 d : 干渉調整幅

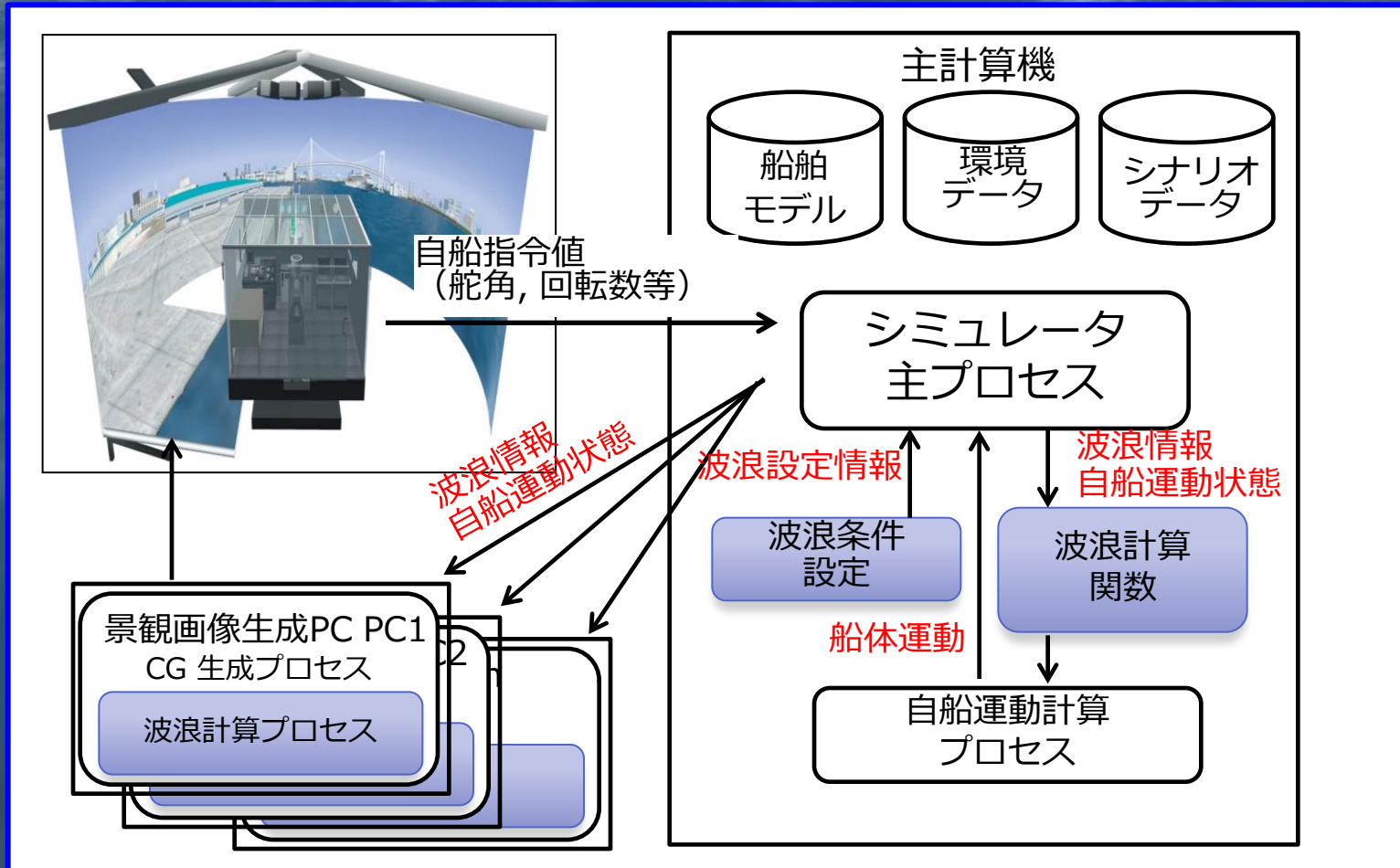
h_1 : 海域内の振幅

h_2 : 海域外の振幅

領域分割時の領域例と重み関数 $f(x,y,d)$

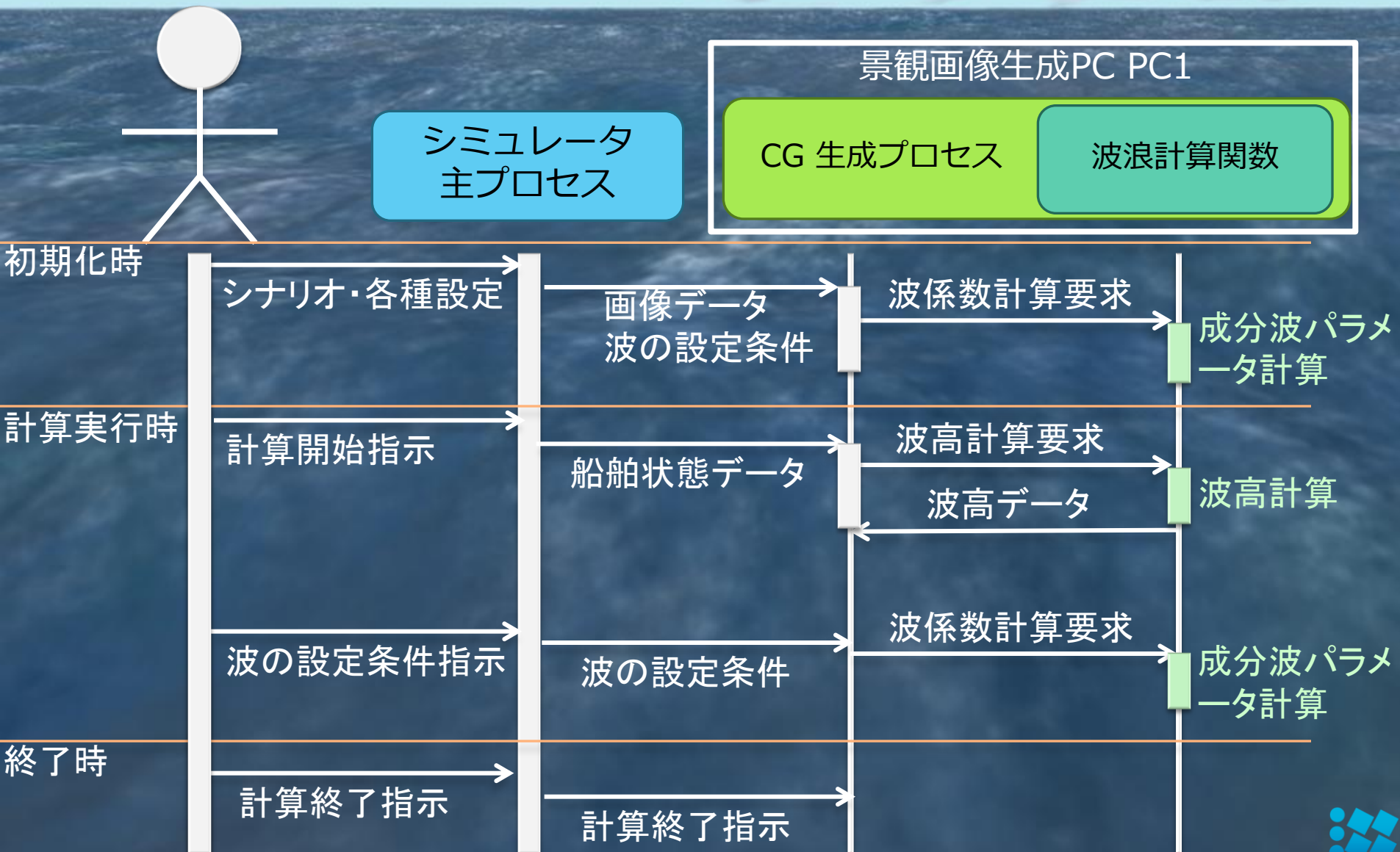
重み関数 $f(x,y,d)$ は、境界外が0.0、境界内が1.0、境界多角形上が0.5とし、なめらかに移行するために干渉調整幅を設け、任意の (x,y) 座標から多角形までの距離と干渉調整幅の比から、重みを設定する。任意の (x,y) 座標から多角形までの距離は、多角形の全線分までの距離を計算し、最も短いものを距離とする。

シミュレータの海洋波の表現機能 操船シミュレータの構成と情報の流れ



画像システムでの波の表現

景観用波浪計算プロセスの関連シーケンス図



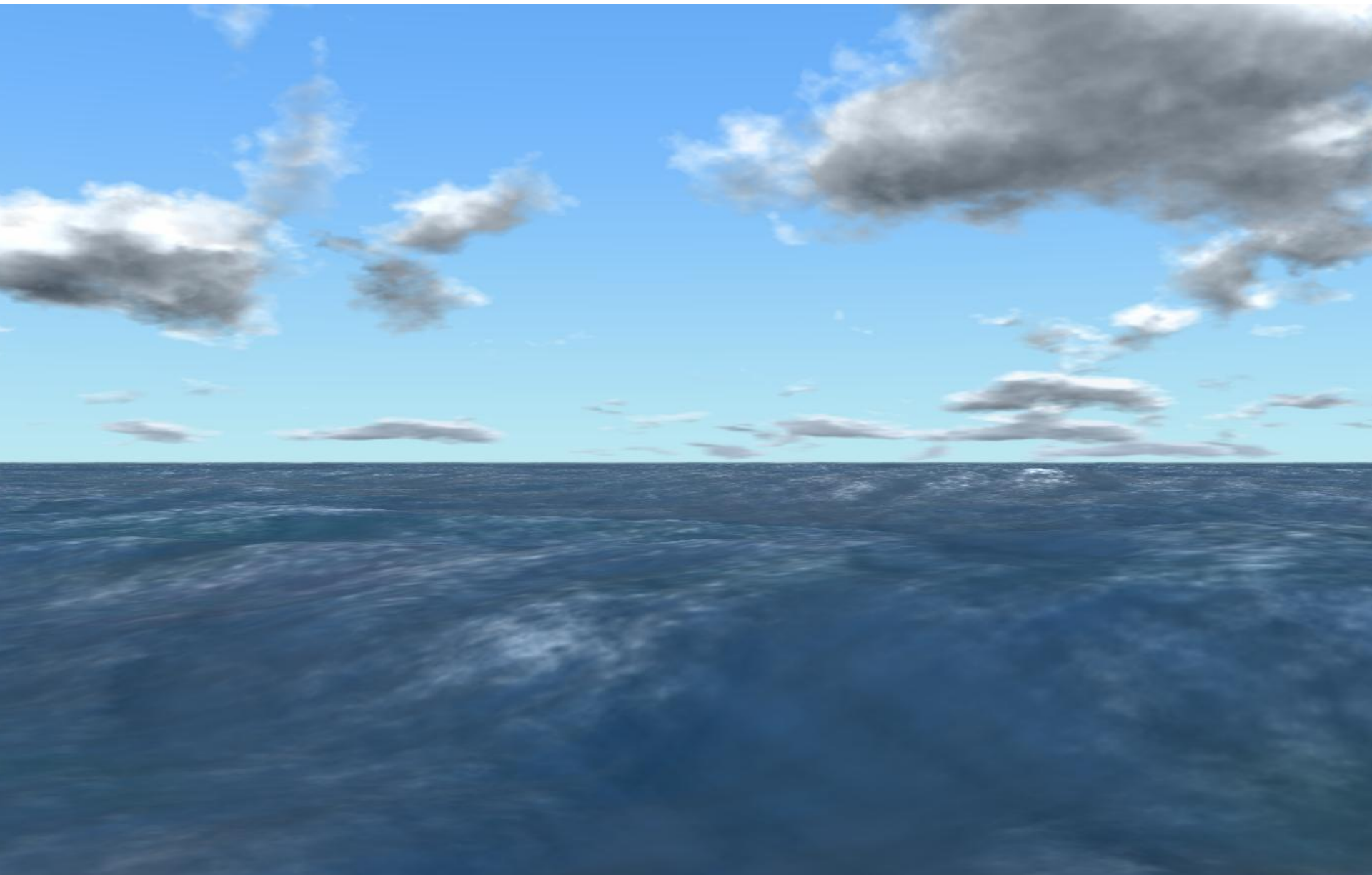
今回更新した景観画像生成システム "Vega Prime" は、海面を詳細に表示するため、海面の部分だけをメッシュ状に分割し、それぞれのメッシュ交点の波高を求め設定することで、リアルな波形を実現している。



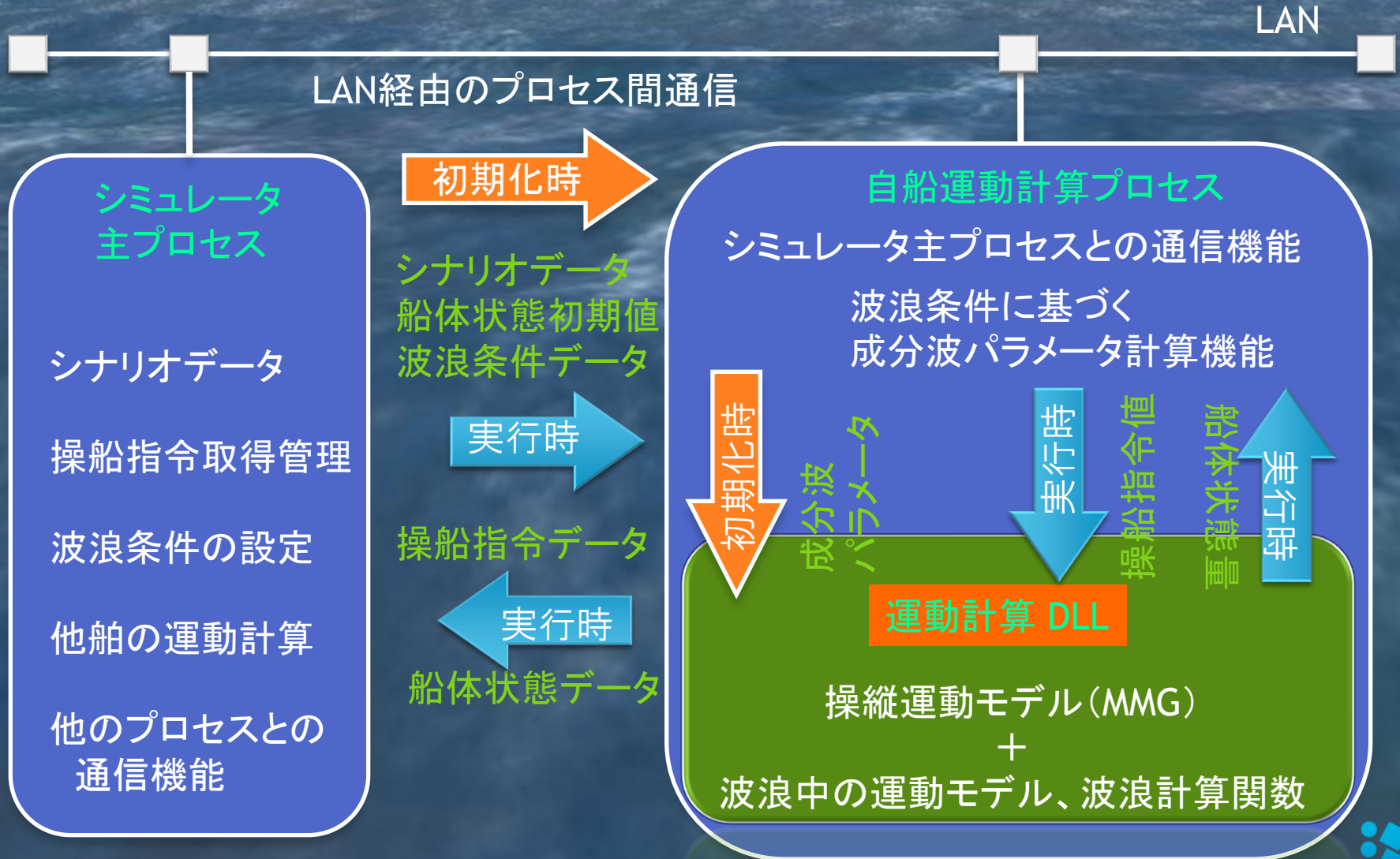
CG画面の海面の部分のメッシュの状況

波の画像

成分波50、有義波高4m のJONSWAPスペクトル、 Cos^n 型方向分布関数を用いた波の景観画像



運動計算と波の表現



波浪中のシミュレーション例 運動モデル

不規則波中を航行する
船舶の運動モデル

波浪による運動

+

操縦運動

波浪による運動

6自由度の運動方程式

成分波のパラメータ
任意点の波高

or

成分波の規則波に
対する周波数応答の
重ね合わせ

成分波のパラメータ

波浪中の運動のシミュレーション例



まとめ

波浪状況下の船体運動の再現を目的として、波のスペクトル等の統計量やユーザ設定による波の形状とその動きを計算する波浪計算プログラムを作成した。

自船船体運動プロセスと個別の船体運動計算を行うダイナミックリンクライブラリ及び波の景観作成プロセスから利用できるように、波浪計算プログラムを操船シミュレータに組み込んだ。

これにより、不規則波に対応した景観画像表現が可能となると共に、船体動揺計算に必要な波の詳細情報を実時間で提供できるようになった。

今後、波浪状況下での運動計算法として、MMG型の操縦運動モデルと、ストリップ法をベースとし波浪中での復原力変動を表現するために、時々刻々の水面下の船体形状に基づいた復原力及びフルードクリロフ力を評価できる船体運動計算プログラムを作成し、シミュレータに組み込む予定である。