京都大学工学部	学生員	〇千田 優
京都大学防災研究所	正会員	森 信人
京都大学防災研究所	正会員	安田誠宏
京都大学防災研究所	正会員	間瀬 肇

<u>1. 研究目的</u>

従来の津波計算においては、ターゲットとする エリアに対して、沖から順に格子解像度を上げて 絞り込む形で計算を進めるネスティング手法が広 く用いられているが、ターゲット地域に含まれな いが高解像度の計算が必要な地域については計算 できず、さらに計算領域内で生成された攪乱によ って計算の不安定性を招いてしまうという問題も ある.

そこで本研究では、計算の状態において空間解 像度を変化させることによって動的に格子の最適 化を行う適合格子細分化法(Adaptive Mesh Refinement)を用いることで、計算精度の向上を目 指し、AMR を組み込んだ津波計算手法を提案する.

<u>2. モデルの概要</u>

AMR は、求めたい物理量の空間勾配の大きい箇 所に細かい格子、勾配の小さい箇所に粗い格子を 配置することで格子の解像度を変化させる.格子 の解像度と数値精度をバランスさせることにより、 少ない格子で高分解能を実現し、数値解の最適化 を行うことができる.図1は適合格子法の細分化 の例である.

計算は図 2 に示したような流れで行う. AMR における数値計算では, AMR のルーチンと時間積 分を行うルーチンの二つから成り立っており,ま ず, AMR のルーチンでは,初期条件で与えられた 水面波形で,求めたい物理量の空間勾配の大きい 箇所,小さい箇所をチェックする.次に,2:1 ルー ルにより隣り合う格子の大きさの比が 2 より大き くならないようチェックし,メッシュの分割,ま たは統合を行うことで格子の最適化を行う. 隣接 格子の大きさが極端に異なると,差分計算での誤 差が大きくなってしまうため 2:1 ルールを設ける. 最後に, η , *P*, *Q*を新しいメッシュで補間し, さ らに新しいメッシュでの地形, 水深を与える. AMR のルーチンで得られた各種値を用いて, η の時間 積分を求め, さらに *P*, *Q* も同様にして得た後, AMR のルーチンに戻り, 次ステップにおける適合 格子を作成する. 以降は, 同じ手順で計算を繰り 返す.

格子の分割・統合条件は基本的には任意だが、 本研究では、水面勾配が、ある程度大きいと分割、 ある程度小さいと統合を行う.統合とは、level = 1 の格子が level = 0の格子になることをいう.level は細分化レベルのことで、level = 0は分割なし、 level = 1は一段階格子を分割するということであ る.図1の一番粗い格子が level = 0, level = 0 を 四分割した格子が level = 1 である.

70	71		72		73		74	7
64	65	66		67		68		6
10	50	53	54	57	58	61	62	
49		51	52	55	56	59	60	e
00	23	26	27	40 4 36 3	42 43	46	47	4
22		24	25	32 33	3435	44	45	
-	n	11	12	15	16	19	20	9
/	ð	9	10	13	14	17	18	
1	2	;	3		4	1	5	6

図1 適合格子の例(数字は格子番号)

3. 理想地形を用いたテスト計算

初期条件として,水位には一次元ガウス分布を 与え,海底地形には一次元ガウス分布と,陸に向 かって水深が小さくなる一様斜面を与えて計算を 行った.また,支配方程式には,非線形項を無視 した球面座標系における線形長波方程式を **leap-frog** 法を用いて差分化し,差分格子には **staggered** 格子を用いた.



図2 AMRモデルのフローチャート

<u>4. 結果と考察</u>

図3は、海底地形に一次元ガウス分布を与えた 時の 5 秒後の断面空間波形である. 凡例中の括弧 内の数字は、格子数を表している. 各条件は上か ら, level = 0 で格子数が 40×20, level = 0 で格 子数が 60×30, level = 1 で格子数が 40×20 の場 合である.図4は海底地形に一様斜面を与えた時 のものである.結果をみると、海底地形に一次元 ガウス分布を与えた時は、勾配の急な箇所で、非 AMR で格子がより細かい場合と AMR を組み込ん だ場合が近い結果を示した.これは、勾配が急な 箇所で格子が細分化されたことによるものと考え られる.しかし、一度分割された格子が統合され ると、図 3 の Point15 から Point25 の間で示され るように、滑らかな波の変化があらわれない.こ れは統合した際に何らかの計算誤差が生じている ことが原因だと考えられる. 海底地形に一様斜面 を与えた時は、どれもほとんど差異はなかった.

<u>5. まとめ</u>

AMR を組み込んだ場合の計算結果は,非 AMR と同様の値と計算の安定性が得られた.格子分割 統合には任意性があり,他の格子の分割・統合条 件が必要であることがわかった.





参考文献

1) A.G.L. Borthwick, R.D. Marchant, and G.J.M. Copeland. Adaptive hierarchical grid model of waterborne pollutant dispersion. *Adv. in Water Res.*, Vol. 23, No. 8, pp. 849–865, 2000.

2) Q. Liang and A.G.L. Borthwick. Adaptive quadtree simulation of shallow flows with wet–dry fronts over complex topography. *Comp.*& *Fluids*, Vol. 38, No. 2, pp. 221–234, 2009.

3) P. MacNeice, K. M. Olson, C. Mobarry, R, de Fainchtein, and C. Packer. Paramesh: A parallel adaptive mesh refinement community toolkit. *Comp, Phys. Comm.*, Vol. 126, No. 3, pp. 330–354, 2000.