

## 海水循環モデルによる日本海の流動について

井本泰司：海洋研究室

岩永義幸：海洋調査課

### On the Circulation in the Japan Sea simulated with Numerical Model

Taiji Imoto : Ocean Research Laboratory

Yoshiyuki Iwanaga : Ocean Surveys Division

#### 1. はじめに

海洋に汚染物質が投棄されると海洋表層はもちろん深層においても流れによって海底を徐々に拡散し周辺の環境に影響を与えることになる。

このため、海洋研究室では平成6年から「深層海洋における物質拡散に関する研究」を行っており、平成6～7年度は、日本海を対象海域とした海水循環モデルの利用方法の検討、単純化したモデルによる海水循環の流動シミュレーションの試験を行いモデル使用上の留意点の検討を行った。平成8年度は、海水循環モデルを用いた日本海の流動シミュレーションを行い、物質拡散を把握する上で必要となる表層から深層までの四季別の平均的な流動を求めた。

本報告においては、流動シミュレーションについて述べるとともに、計算結果について報告する。

#### 2. 海水循環モデルによる流動シミュレーション

##### 2.1 流動シミュレーションで考慮する海水循環の駆動要因

日本海の海水循環は、海峡を通じた流出入、風成循環及び熱塩循環の三つに分けて考えることができる。従って、日本海の流動シミュレーションでは、これら三つの海水循環の駆動要因である対馬海峡からの流入、海上風及び海域の密度差について考慮に入れる。(表1参照)

##### 2.2 流動シミュレーションで用いる循環モデル

日本海は、西岸境界流や深層水の形成等、大規模

循環の諸特徴が現れる「ミニ大洋」と言うことができる。従って、日本海の海水循環に適用されるモデルは、「海洋大循環モデル」が適当である。「海洋大循環モデル」の中では、プリンストン大学地球流体力学研究所の海洋大循環モデル(Bryan, 1969)が標準的な地位を占めており、日本海を対象とした過去の流動シミュレーションにおいても広く用いられている(Kawabe, 1982), (Yoon, 1982)。ここでは、この(Bryan, 1969)モデルをベースとし、さらに計算効率を考慮してSarmiento & Bryan (1982)のRobust Diagnostic Modelを付加したモデルを用いた。

##### 2.3 計算ケース

流動シミュレーションは、春季、夏季、秋季、冬季及び年平均の計5ケースについて実施した。

##### 2.4 計算条件

###### 2.4.1 計算海域と格子分割・層区分

計算海域としては、(図1参照)に示す127°~143°E, 33°~53°Nにわたる海域を設定した。この海域について、水平方向には15分メッシュにより東西61×南北75に分割し、鉛直方向には計22層に層区分を行った(表2参照)。

表1 流動シミュレーションで考慮する海水循環の駆動要因

駆動要因	対応する海水循環
対馬海峡からの流入	対馬海峡、津軽海峡 宗谷海峡を通じた流出入
海上風	風成循環
海域の密度差	熱塩循環

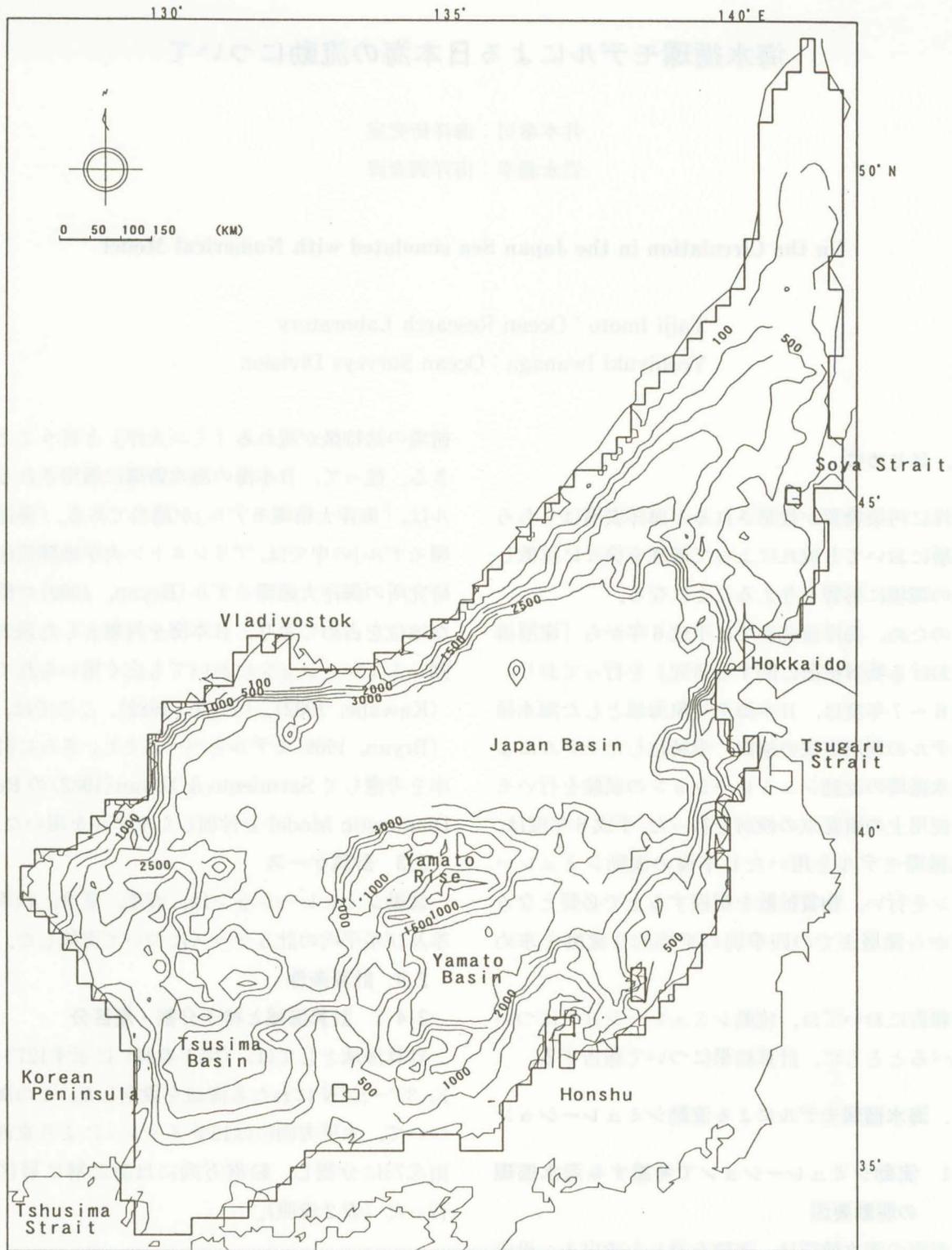


図1 流動シミュレーションにおける対象海域と水深 [単位：m]

2.4.2 Robust Diagnostic Modelにおける水温・塩分観測値

本モデルで採用したRobust Diagnostic Modelは、水温・塩分の計算値を一定速度で観測値に近づけるものであるため、計算には海域の水温・塩分の観測値が必要となる。しかし、日本海、特にロシア

沿岸および朝鮮半島北岸においては、ある程度の期間・面積にわたって蓄積されたものが極めて少ないのが実状である。現存する日本海の水温・塩分観測値のうち、JODCデータを含んだNODCのデータ(Levitus,1982)、(以降NODC.Lev.datという)は、Quality Checkによってデータの信頼性が確保され

表2 流動シミュレーションにおける鉛直層区分

層	平均水深 (m)	層	平均水深(m)
第1層	10m	第12層	475m
第2層	30m	第13層	537m
第3層	55m	第14層	625m
第4層	85m	第15層	737m
第5層	125m	第16層	875m
第6層	175m	第17層	1050m
第7層	225m	第18層	1250m
第8層	275m	第19層	1650m
第9層	325m	第20層	2100m
第10層	375m	第21層	2600m
第11層	425m	第22層	3100m

ている。また、補間処理等により空間的に比較的高密度のデータが利用できるため、このモデルの水温・塩分観測値として適切であると考えられるので、これを採用することとした。NODC.Lev.datから、水平方向に日本海のほぼ全域にわたって水温・塩分値を得ることができる。一方、鉛直方向については、1,750m以深は季節別のデータが存在しない。しかし、このような深層における水温・塩分の季節変化は小さく、JODCの統計値でも1,500m以深ではほとんど季節変化が見られない。従って、季節別の計算における1,500m以深の水温・塩分値は、年平均のデータを用いた。なお、NODC.Lev.datでは、春季が5～7月、夏季が8～10月、秋季が11～1月、冬季が2～4月の平均値をそれぞれ意味しており、計算でもこの区分に従って春季、夏季、秋季、冬季の流動シミュレーションを行った。NODC.Lev.datの季節区分は日本の通常の季節区分（春季3～5月、夏季6～8月、秋季9～11月、冬季12～2月）とは若干異なると思われる。従って、以下では、単に春季、夏季、秋季、冬季等という場合は、日本の通常の季節区分を指すが、「春季（5～7月）」、「夏季（8～10月）」等という場合は、NODC.Lev.datの季節区分を指すものとする。

### 2.4.3 境界条件

#### (1) 開境界

日本海と外海をつなぐのは対馬海峡、津軽海峡等

の海峡である。これら海峡を通じた流出入は、対馬海峡を通じて東シナ海から対馬暖流が流入し、その大部分が津軽海峡を通じて太平洋へ流出、残りが宗谷海峡を通じてオホーツク海へと流出している。従って、対馬海峡では流入条件、津軽海峡、宗谷海峡では流出条件を与えた。なお、対馬海峡西水道には若干の流出量があると言われているがここでは考慮していない。

#### (1) 海面境界

運動方程式の海面境界条件としては風応力、水温、塩分の保存式の海面での境界条件として海面水温及び塩分の観測値が必要となる。

ここでは、Na et al. (1994) を用いて風応力の設定を行った。水温及び塩分の観測値としてはNODC.Lev.datを用いた。

### 2.5 計算結果の検討

ここでは、「春季（5～7月）」、「夏季（8～10月）」、「秋季（11～1月）」、「冬季（2～4月）」及び「年平均」の全5ケースについて行った流動シミュレーションの計算結果について述べる。（図2～図5参照）に「春季（5～7月）」の全22層の計算結果の中から、第1層（10m深）、第3層（55m深）、第7層（225m深）、第12層（475m深）の流況について示す。同様に、（図6～図9参照）に「夏季（8～10月）」、（図10～図13参照）に「秋季（11～1月）」、（図14～図17参照）に「冬季（2～4月）」、（図18～図21参照）に「年平均」の流況を示す。

なお、これらの流況は、各季節の水温・塩分、海上風の平均値を計算条件として得られた結果であり、各季節の平均的な流況を示していると考えられる（特定時点の流況ではない）。

また、第12層以下についても検討したが、計算結果の値が小さく見難いので割愛した。

#### 2.5-1 「春季（5～7月）」の平均的流況について

（図2～図5参照）。第1層（10m深）のうち日本海南半分については、対馬海峡から流入した対馬暖流が広がり、北東に向かって流れていく様子が示されている。

これを詳しく見ると、第一に最南部では山陰沿岸の大陸棚上を東進する流れがあり、いわゆる対馬暖

流の第1分枝と考えられる。この第1分枝は、鳥取沖及び能登半島で沿岸から離れ流速も減少している。これは、第1分枝が地形制御流（地形性 $\beta$ 効果による陸棚波）であることから（Yoon, 1982）、鳥取沖など深い水深が沿岸に接近した海域では大陸棚の制御を受けなくなるためと考えられる。第二に、朝鮮半島沿いに強い北上流が見られるが、これは北緯37度から41度にかけて東に向きを変えて離岸し、北緯41度を北限として蛇行しつつ東進していく。この流れはいわゆる対馬暖流の第二分枝と第三分枝にあたる考えられるが、「春季（5～7月）」の計算結果では両者の識別は明確ではない。なお、日本海盆南東部付近では、流れの幅が狭まり流速が増大している。

以上の対馬海峡からの流れは、大部分が津軽海峡から流出し、残りは宗谷海峡から流出する。

一方、日本海北半分については、上に述べた日本海南半分の流れと比べて流速が弱いことがわかる。

第1層（10m深）、第3層（55m深）の計算結果は同様の傾向が見られるが、第3層（55m深）の流速は全体に弱くなっている。第7層（225m深）では、日本海南半部の大陸棚縁辺部において第1層（10m）、第3層（55m深）とは異なる向きの流れが表れており、傾圧的傾向を見てとることが出来る。特に山陰沖の大陸棚縁辺の流れは、第二分枝の反流と考えられる。また、第12層（475m）、第17層（1,050m）、第19層（1,650m）、第22層（3,100m）、の流況はほぼ同じであり、傾圧的構造を示している。

2.5-2 「夏季（8～10月）」の平均的流況について（図6～図9参照）。全体的に、「春季（5～7月）」と同様の流況であるが、第1層（10m深）、第3層（55m深）では「春季（5～7月）」より流速が強まっている。第7層（225m深）では大陸棚縁辺の反流が強まっており、傾圧的傾向が増大していることがわかる。一方、第12層（475m深）、第17層（1,050m深）、第19層（1,650m深）、第22層（3,100m深）の流況は「春季（5～7月）」とほぼ同じである。

2.5-3 「秋季（11月～1月）」の平均的流況について（図10～図13参照）。第1層（10m深）では、全体的に「夏季（8～10月）」より流速が弱まっている。

また、「夏季（8～10月）」にない特徴として、日本海盆、北朝鮮北部沖等に見られる低気圧性の渦が挙げられる。特に、沿海州から北朝鮮北部にいたるまでは、2つの渦を通じて南向きの流れが形成されており、これはリマン海流にあたるものと考えられる。また、対馬暖流の朝鮮半島からの離岸は、「春季（5～7月）」と「夏季（8～10月）」に比べて南寄り（北緯38度付近）となっている。第3層（55m深）、第7層（225m深）では「夏季（8～10月）」より流速は弱まっている。第12層（475m深）では逆に強まっている。

2.5-4 「冬季（2～4月）」の平均流況について（図14～図17参照）。第1層（10m深）、第3層（55m深）、第7層（225m深）では「秋季（11～1月）」より流速は弱まっている。第12層（475m深）以下はほぼ同じ流況となっており、傾圧的構造を示している。

2.5-5 「年平均」の流況について（図18～図21参照）全体として、「春季（5～7月）」と似た流況となっていることがわかる。

### 3. むすび

今回の海水循環モデルによる日本海の流動シミュレーションの結果は、従来の知見と全体的に一致しており、日本海の高気圧の特徴を概ね再現しているものと考えられる。今後、日本海の表層から深層にいたる流動把握の基礎ケースとして活用が期待される。

日本海の流動シミュレーションを行ったが、モデルを検証するデータが不足している。今後、検証に足る実測データの調査が待たれる。

### 参 考 文 献

- Bryan, K.: A Numerical Method for the Study of the Circulation of the World Ocean, *Journal of Computational Physics*, 4, 374-376 (1969)
- Kawabe, M.: Branching of the Tsushima Current in the Japan Sea, Part II. Numerical Experiment *Journal of the Oceanographi-*

cal Society of Japan 38, 183-192 (1982)

Sarmiento, J. L. and K Bryan : An Ocean Transport Model for the North Atlantic, Journal of Geographic Reserch, Vol.87, C1, 394-408 (1982)

Yoon. J. H. : Numerical Experiment on the Circulation in the Japan Sea, Part III. Mecanism of the Nearshore Branch of the Tsushima Current, Journal of the Oceanographical Society of Japan 38, 125-130 (1982)



図1 東海及び北日本海における循環の模式図 (1) (北緯30° 東経140°) 冬季

図2 東海及び北日本海における循環の模式図 (2) (北緯30° 東経140°) 夏季



図3 東海及び北日本海における循環の模式図 (3) (北緯30° 東経140°) 冬季

図4 東海及び北日本海における循環の模式図 (4) (北緯30° 東経140°) 夏季

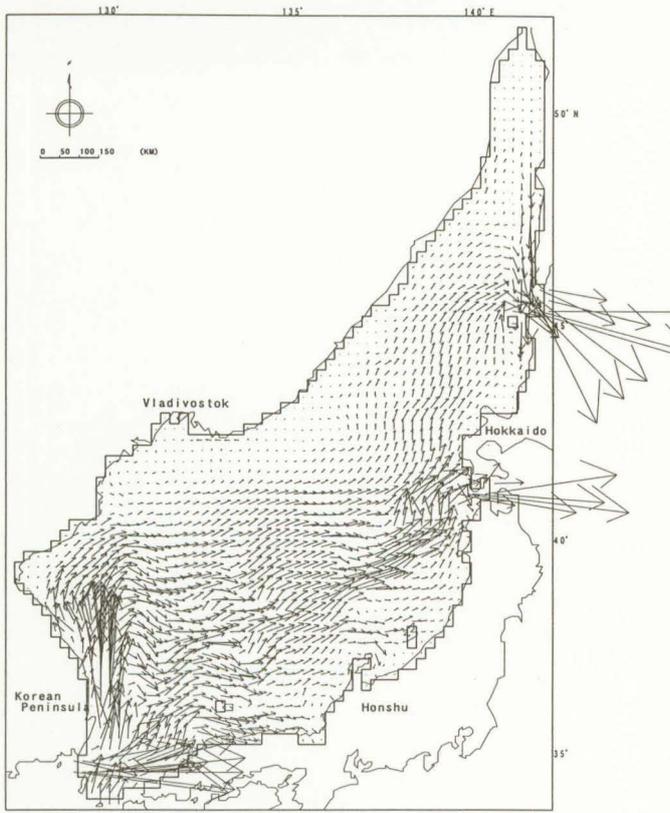


図2 日本海の流動シミュレーションの計算結果  
[春季(5~7月), 第1層(10m深)]

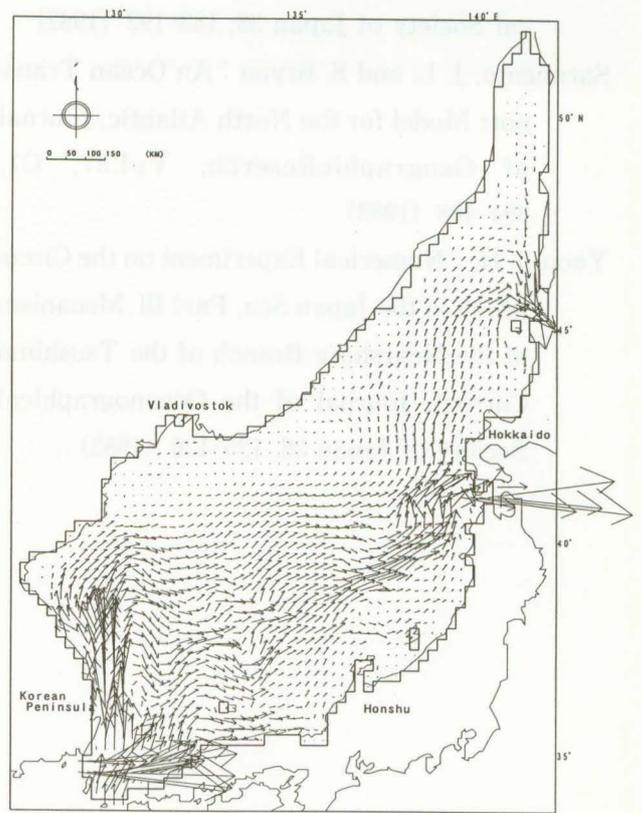


図3 日本海の流動シミュレーションの計算結果  
[春季(5~7月), 第3層(55m深)]

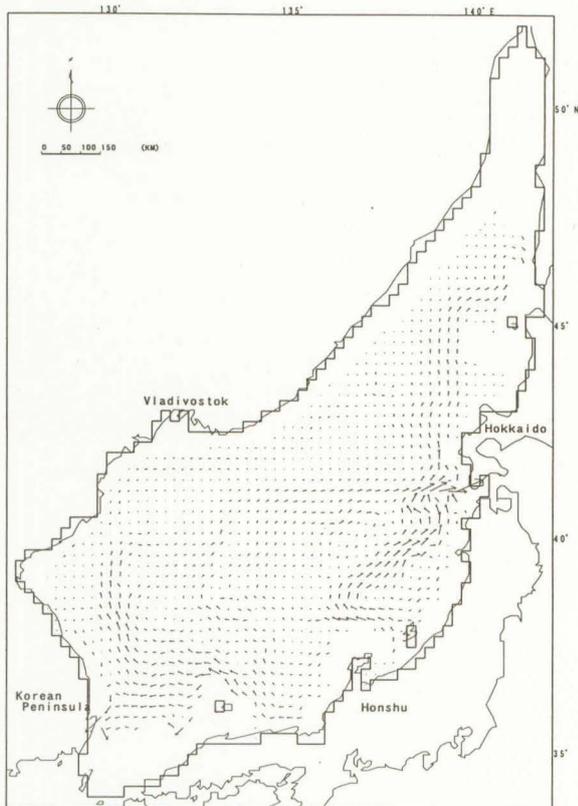


図4 日本海の流動シミュレーションの計算結果  
[春季(5~7月), 第7層(225m深)]

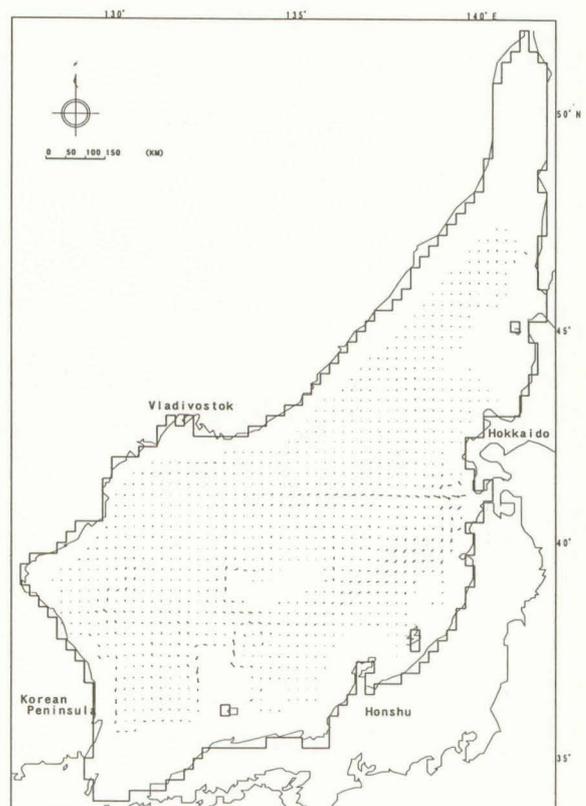


図5 日本海の流動シミュレーションの計算結果  
[春季(5~7月), 第12層(475m深)]

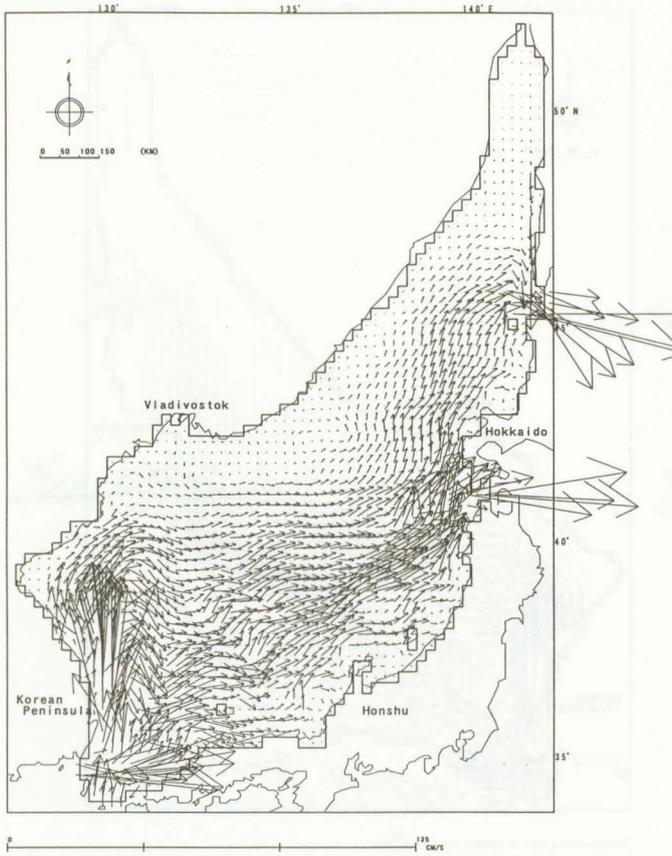


図6 日本海の流動シミュレーションの計算結果  
[夏季(8~10月), 第1層(10m深)]

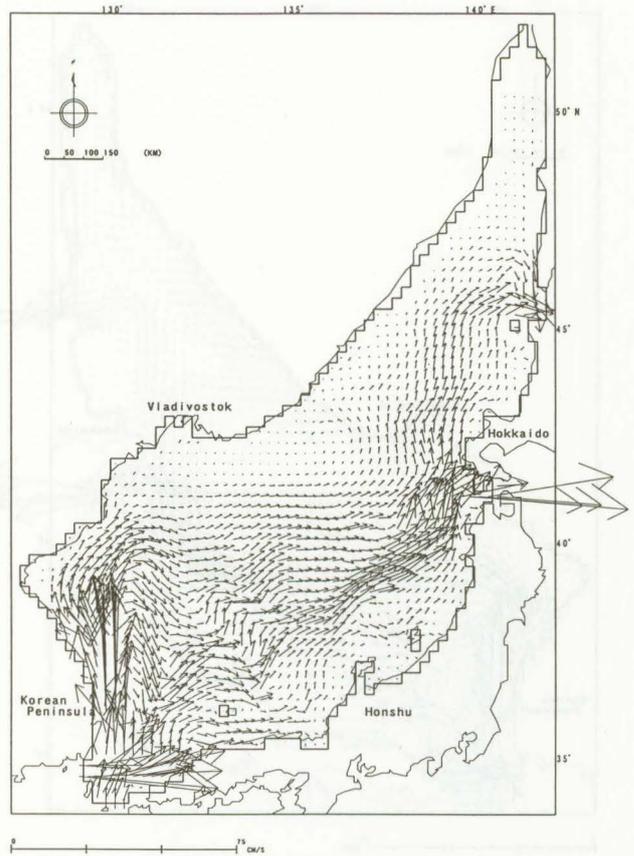


図7 日本海の流動シミュレーションの計算結果  
[夏季(8~10月), 第3層(55m深)]

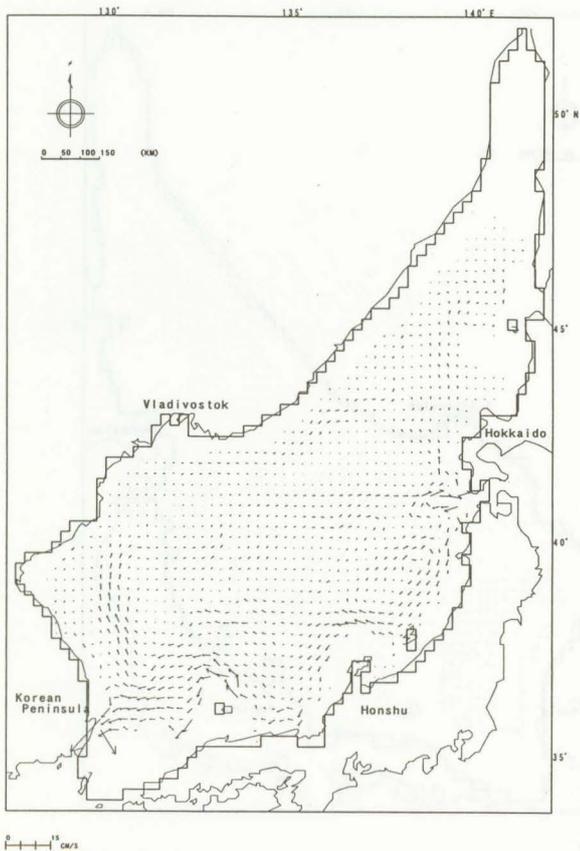


図8 日本海の流動シミュレーションの計算結果  
[夏季(8~10月), 第7層(225m深)]

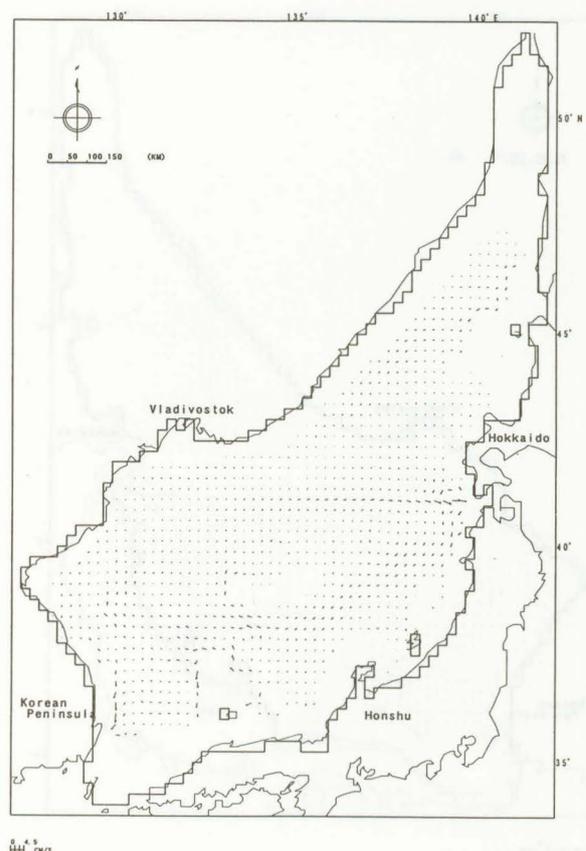


図9 日本海の流動シミュレーションの計算結果  
[夏季(8~10月), 第12層(475m深)]

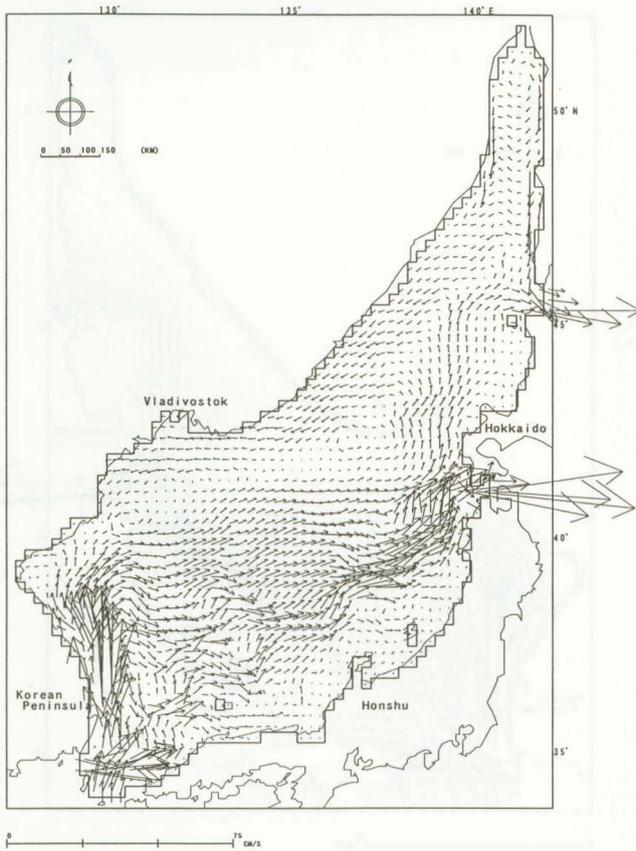


図10 日本海の流動シミュレーションの計算結果  
[秋季(11~1月), 第1層(10m深)]

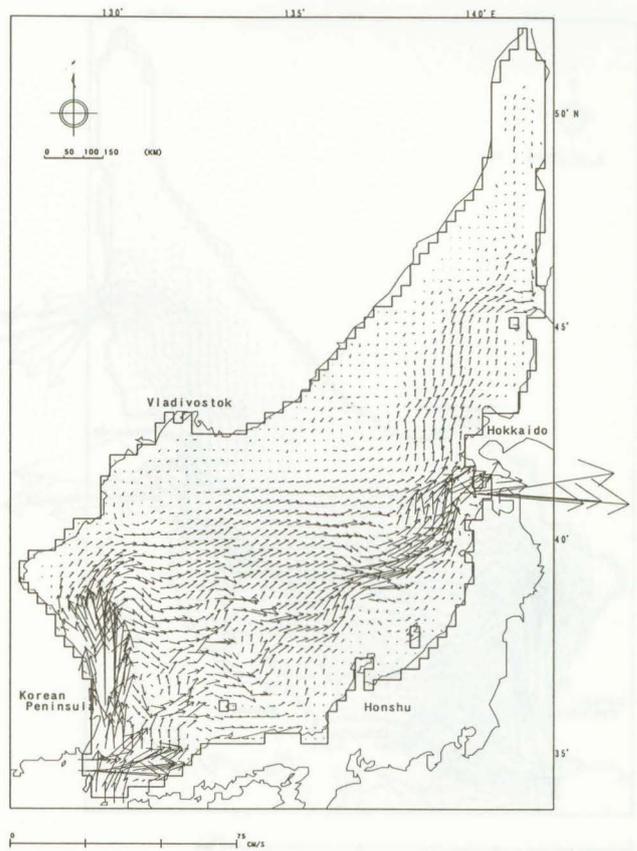


図11 日本海の流動シミュレーションの計算結果  
[秋季(11~1月), 第3層(55m深)]

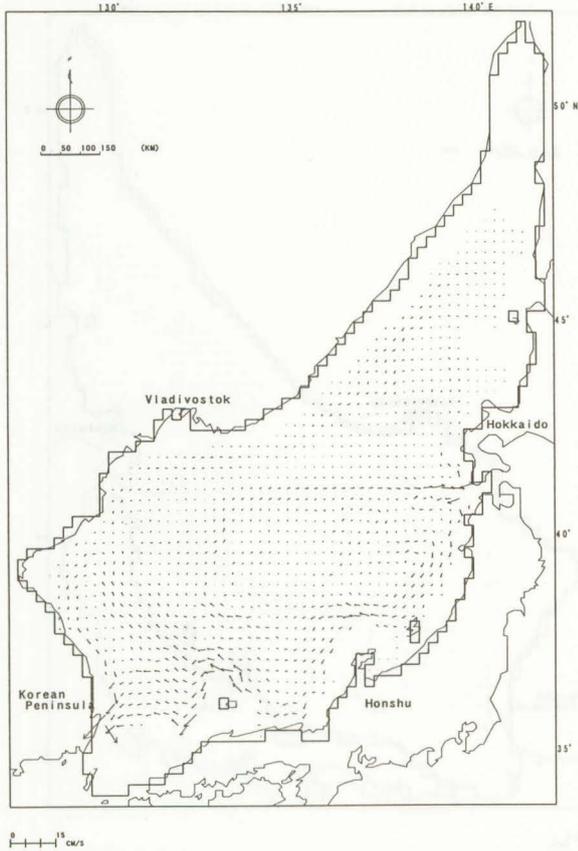


図12 日本海の流動シミュレーションの計算結果  
[秋季(11~1月), 第7層(225m深)]

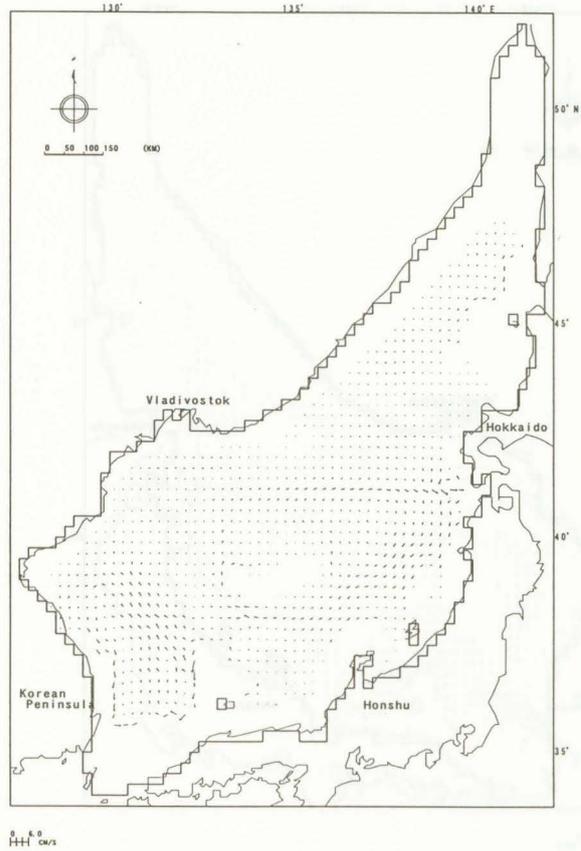


図13 日本海の流動シミュレーションの計算結果  
[秋季(11~1月), 第12層(475m深)]

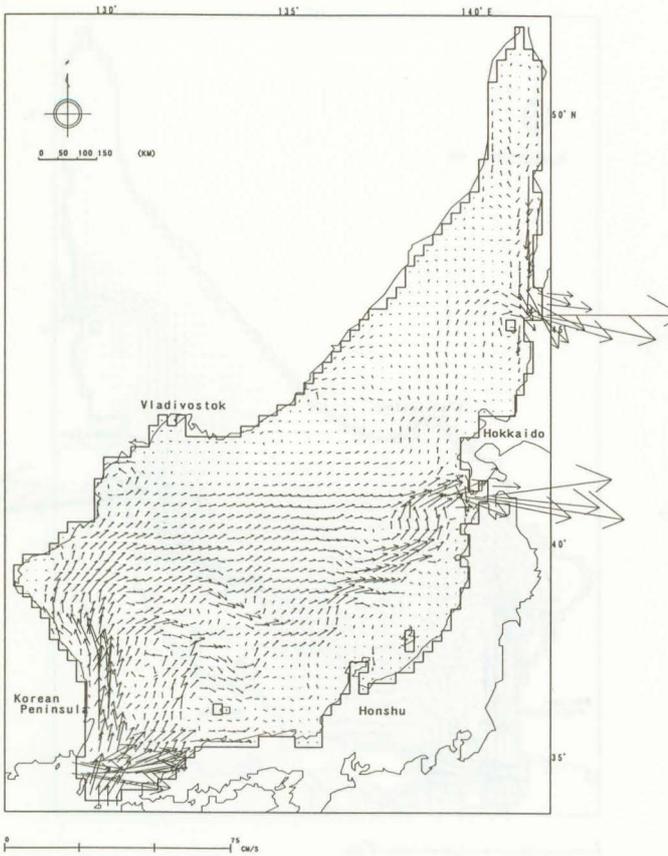


図14 日本海の流動シミュレーションの計算結果  
[冬季(2~4月), 第1層(10m深)]

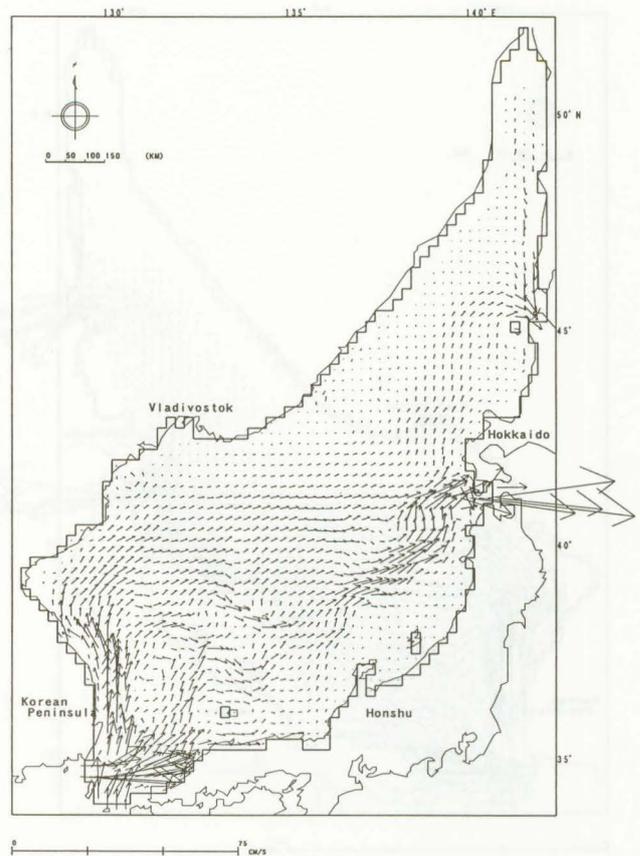


図15 日本海の流動シミュレーションの計算結果  
[冬季(2~4月), 第3層(55m深)]

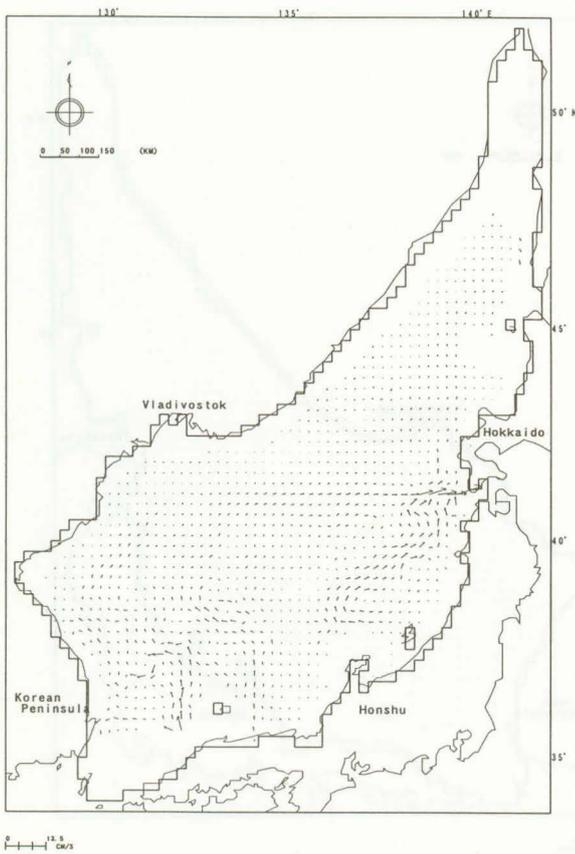


図16 日本海の流動シミュレーションの計算結果  
[冬季(2~4月), 第7層(225m深)]

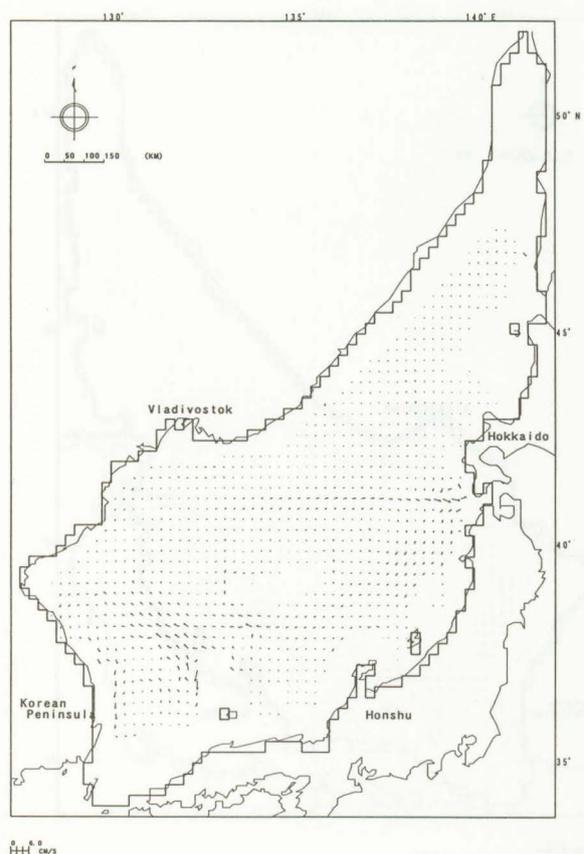


図17 日本海の流動シミュレーションの計算結果  
[冬季(2~4月), 第12層(475m深)]

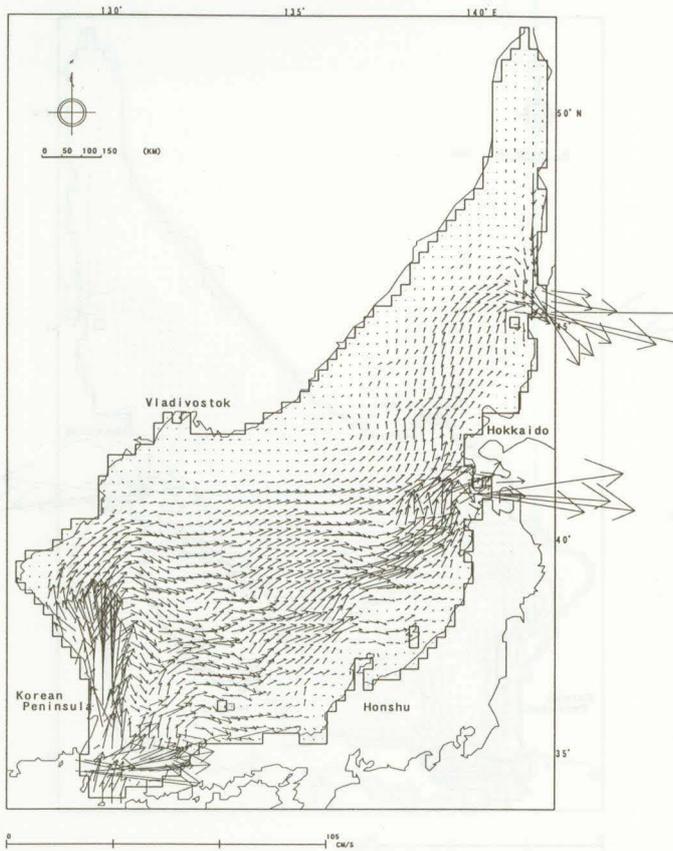


図18 日本海の流動シミュレーションの計算結果  
[年平均, 第1層 (10m深)]

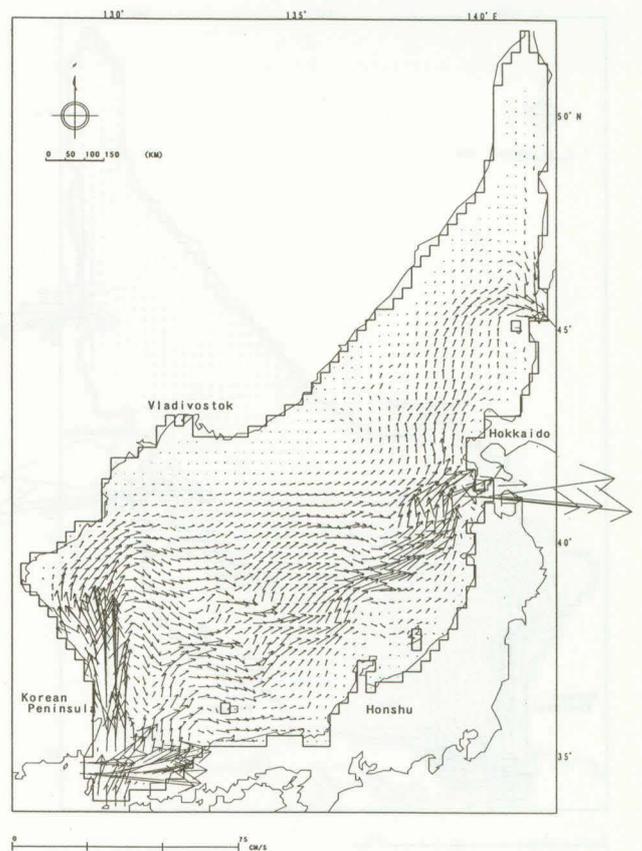


図19 日本海の流動シミュレーションの計算結果  
[年平均, 第3層 (55m深)]

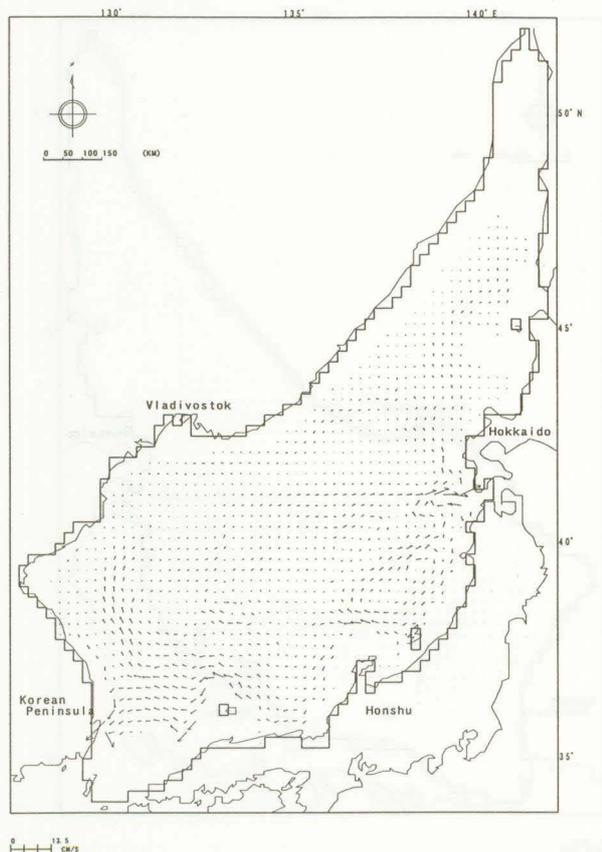


図20 日本海の流動シミュレーションの計算結果  
[年平均, 第7層 (225m深)]

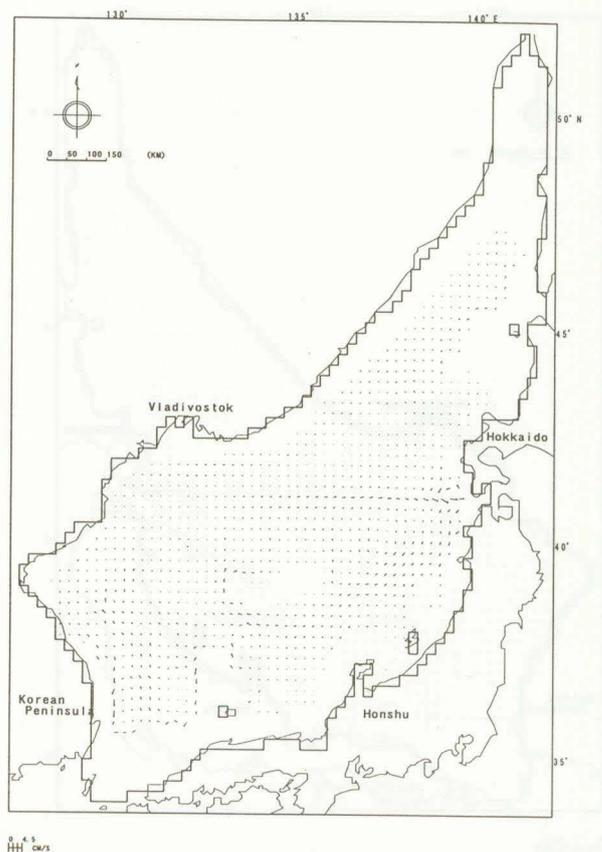


図21 日本海の流動シミュレーションの計算結果  
[年平均, 第12層 (475m深)]