

東中国海及び杭州湾・長江口外海に対する潮流数値計算

Numerical simulation of tides and tidal currents
in the East China Sea, Hangzhou Bay and Yangtze Estuary

張君倫* ・ 張東生** ・ 張長寛**

Junlen. Zhang, Dongsen. Zhang and Changkuan. Zhang

The spring tide in the East China Sea on September 4, 1989, is simulated with coarse grids. As the open sea boundary conditions, tide are constructed from constituents at 24 stations along the boundary. The computed tidal current explains well the formation of sand bars at Chonggang. With finer grids, the tide in Hangzhou Bay and Yangtze Estuary is also simulated, by using outputs of the simulation with coarse grids as the boundary condition. In Hangzhou Bay, tidal currents mostly form linearly oscillating flow, affected by the coastline boundary, while they form rotating flow in the Yangtze Estuary.

Keywords: (East China Sea, Tide, Numerical Simulation)

1. はじめに

中国を流れる最大の川である長江口の河口付近は、流送土砂のため水深が浅い。そのため1万トン以上の船の航行はきわめて難しく、河口部の治水に加えて航路の維持浚渫は大きな問題となっている。長江口・呉淞口・黄浦江を経て上海港へと入る航路は大型船を受け入れることが出来ず、この解決のために杭州湾北岸の金山に港を新設する計画がある。新港への航路選定の1要素として長江口及び杭州湾での潮流を知ることが求められている。長江口外海と杭州湾とは共に東中国海の辺縁海であるから、潮流の数値計算をするためには、境界値として東中国海の数値計算結果を使用するのが良い。本論文では、広域の東中国海の潮流をまず計算し、そののち狭い領域の杭州湾・長江口外海に対して計算し、その結果を検討する。

従来、潮汐波数値計算の際には、対象とする入力波を単一分潮あるいは三つの分潮 (M_2 , S_2 と M_1) ¹⁾ からなるとすることが多い。本計算では、必要に応じて、具体的な日時 (1989年9月4日) の潮汐を、8分潮に基づいて推算した入力波を境界で与えて計算することとする。

2. 東中国海潮流の計算

大陸沿岸、台湾、琉球諸島、九州と朝鮮半島を含む東中国海についての計算は、線形理論に基づいて行なう。図1において、斜線を施した格子は、狭い領域としての杭州湾・長江口を示している。海側境界の全延長は66ヶの格子点より形成されている。この境界上には4分潮に基づいて推算潮位の求められる地点が10地点、8分潮により求められる地点が14地点あるので、これに対し1989年9月2日より3日間にわたる大潮に対する潮位を計算し、その他の格子点では内挿した水位を用いることによって、海側境界条件を設定した。

計算結果の検証は、東中国海における12地点の潮位推算値と本計算の出力との比較によって行なう。計算が線形計算であるから、水深の浅い近海での潮汐波の非線形変形は含められない。したがって、検証する場所ではできるだけ水深の深い外海の島とか開放された平坦な海岸に位置する検潮所を選ぶこととした。図2は、このように選んだ12地点における計算の出力と潮位推算値との比較である。計算に用いられた底面摩擦係数は、渤海では0.0014、他の海域では0.0014より0.0024の範囲で、水深によって異なる値を与えた。比較を行なった地点の潮位推算値は、それぞれ10分潮により求められた。計算に際して、座標平面を長江口外海の多年平均海面 (呉淞零点上1.89m) と定めた。図2より、各地点の出力と潮位推算値とはほぼ一致していることが判る。

図3は、1989年9月4日の半日周期間を対象とした、緑華山 (長江口の沖) での満潮、下げ潮最小、干潮並びに上げ潮最小の時点における、東中国海の海面等高線と流速場分布である。同じ時間帯の1時間毎の流速ベクトルの集合を、図4に示す。図4より、大陸側の長江口外海における潮流が大きく、しかも流向が回転していることが判る。また図5における半潮差の等値線も、同じ地域で1.5mという大きい値を取ることが判る。

* 非会員 東北大学客員研究員 (中国南京 河海大学助教授)

** 非会員 中国南京 河海大学助教授

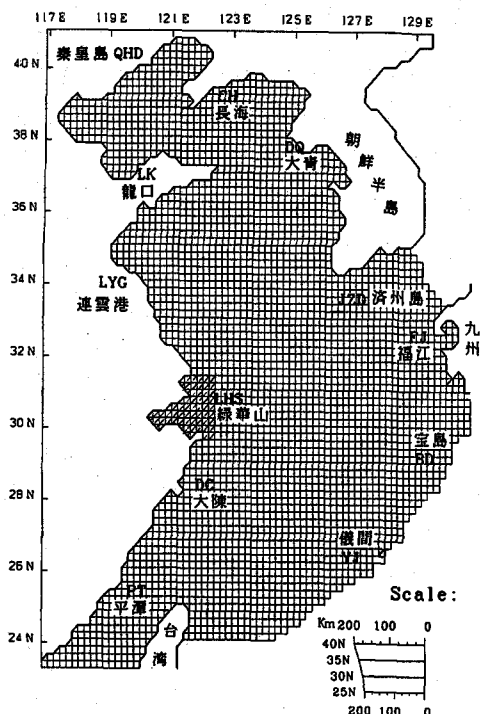


図1. 東中国海潮流数値計算メッシュ

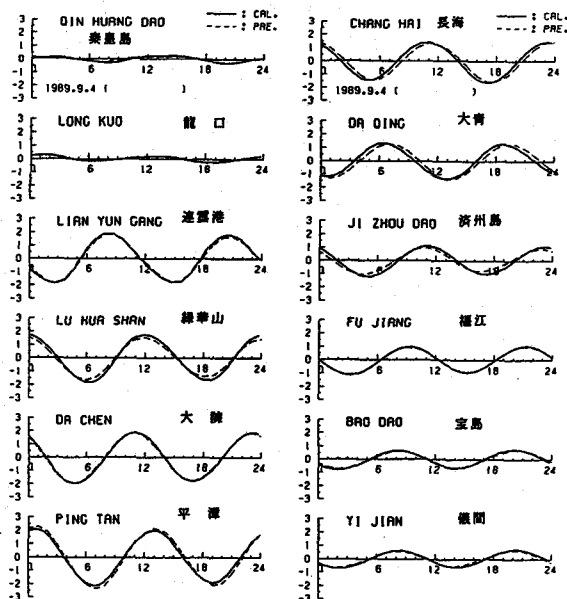


図2. 東中国海周辺12地点における潮位の
計算結果と後報値との比較

図3の海面等高線図から判る通り、西太平洋から琉球諸島を経て東中国海へと進行して来る潮汐波は、浙江省沿岸を境として南西方向（台湾海峡）へ向かうものと北上するものとに分かれる。

北上する潮汐波は、その一部が山東半島によって反射され、その結果として無潮点が南黄海に発生し、他の一部が山東半島と朝鮮半島との間を経て北黄海に入る。図5に示すように、北黄海に入る潮汐波も遼東半島から反射され、山東半島の沖において無潮点が発生する。この二つの無潮点は、それぞれの反射境界まで距離が170km、200kmであり、共にその水深に対応する半日潮波長の1/4に相当する位置であることが判る。

ついで、この北上してきた潮汐波は、渤海にはいる。渤海における潮汐波は西方向（渤海湾）へ向かうものと北東方向（遼東湾）へ向かうものとに分かれる。南黄海や北黄海におけると同様に、西方向の渤海湾の沿岸と北東方向の遼東湾の沿岸が反射境界となるため、それぞれの境界から1/4波長の所に無潮点が発生する。しかしながら、摩擦の影響により無潮点の位置が潮汐波進行方向の左側に移動することは、南黄海、北黄海におけるものよりも、もっと明瞭に現れる。図5に示すように、渤海南部における無潮点は黄河口の沖に位置し、北の無潮点は秦皇島の側へずれている。

図5の結果をまとめて考察すると、次のようである。大潮時の潮汐図の大勢は M_2 分潮によって支配されていると云うことが出来る。しかしながら、 M_2 分潮のみを用いた計算では同じ等値線の範囲が広く与えられることが多い。今回の大潮の計算で求められた1.0m等高線は、 M_2 分潮だけの場合の0.6m等高線にほぼ相当する。²⁾

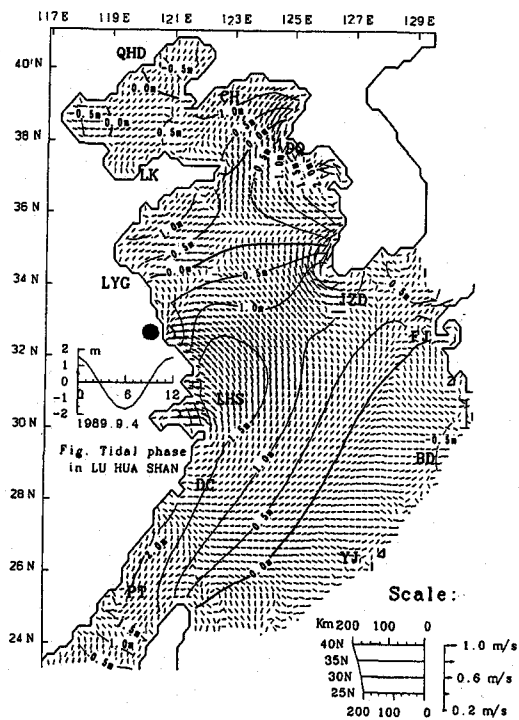


図 3-1. 緑華山満潮時の東中国海の瞬間海面等高線および流速場分布

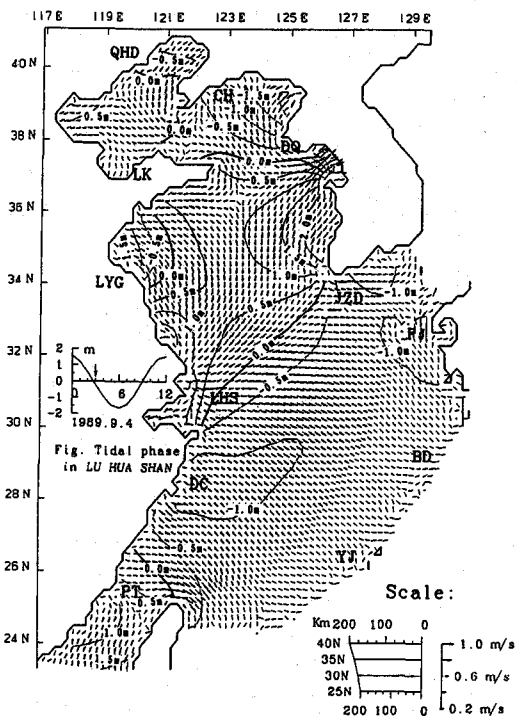


図 3-2. 緑華山下げ潮の東中国海の瞬間海面等高線および流速場分布

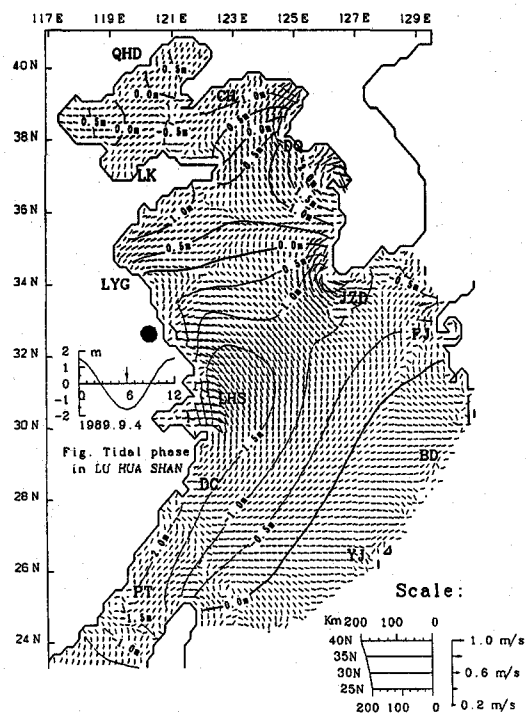


図 3-3. 緑華山干潮時の東中国海の瞬間海面等高線および流速場分布

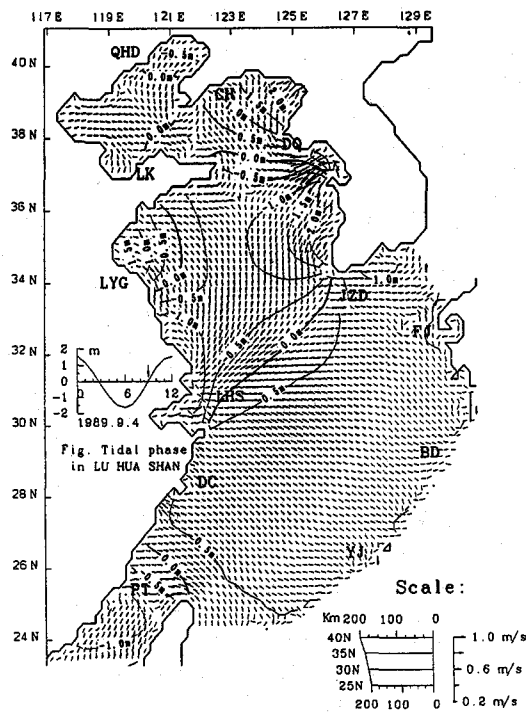


図 3-4. 緑華山上げ潮の東中国海の瞬間海面等高線および流速場分布

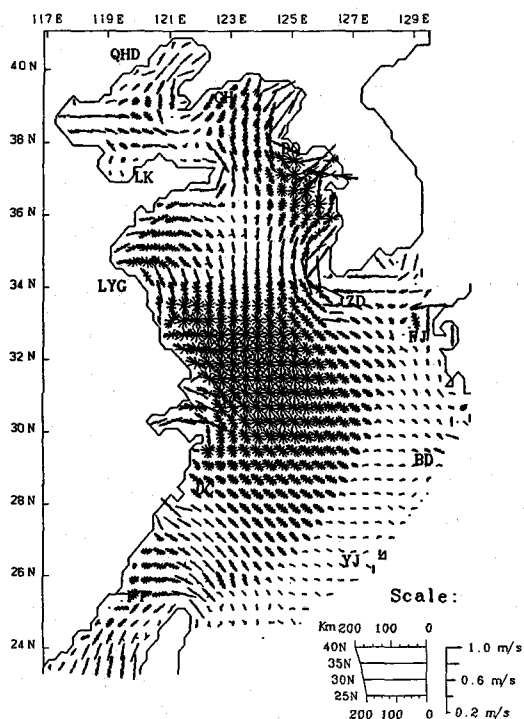


図4. 半日周期の間に1時間毎の
流速ベクトルの集合

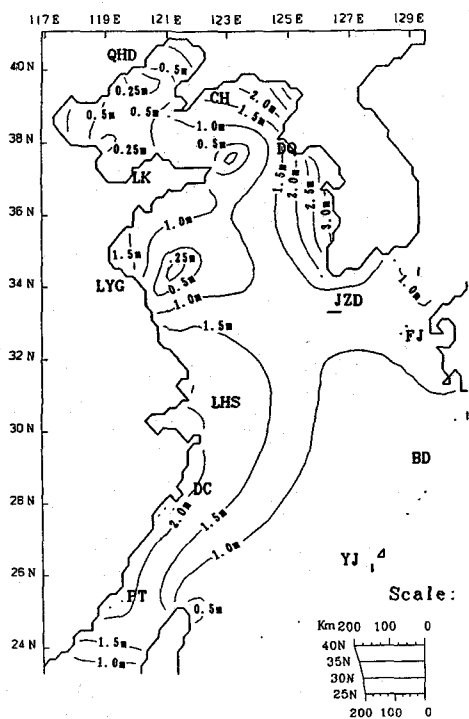


図5. 東中国海大潮時の半潮差の等値線

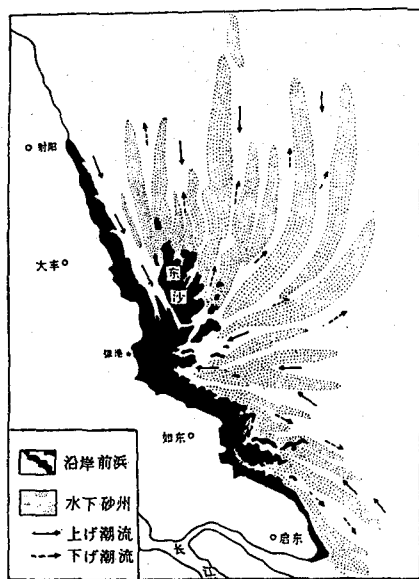


図6 江蘇省沿岸における潮流に応ずる
外浜の水下砂州（放射砂州）

図3. 1と図3. 3の流速場分布図から、江蘇省沿岸
 弥港（図中、黒丸印の地点）の沖において、上げ潮時には流れが海岸へ集中し、下げ潮時には放射するように流れることが明かである。このような流れに対応した海底地形の存在が認められる。すなわち、図6に示すような、外浜の砂州分布が観測されているのである³。これは山東半島から半波長の所の弥港の付近において、南の潮汐波が進行波の性質を持ちながら流れを時計周りに変化させるのに対し、北の潮汐波は回転する潮汐波であり、これによって流れが逆時計周りに変化する。この二つの潮汐波システムの境において、ある時には流れは沿岸へ向かって集中し、ある時には沖へ向かって放射するからである。

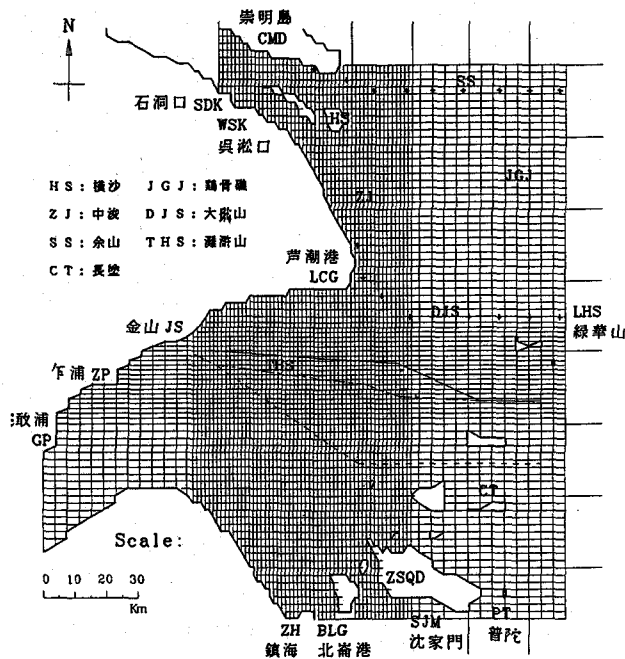


図7. 杭州湾と長江口外海潮流数値計算のメッシュ

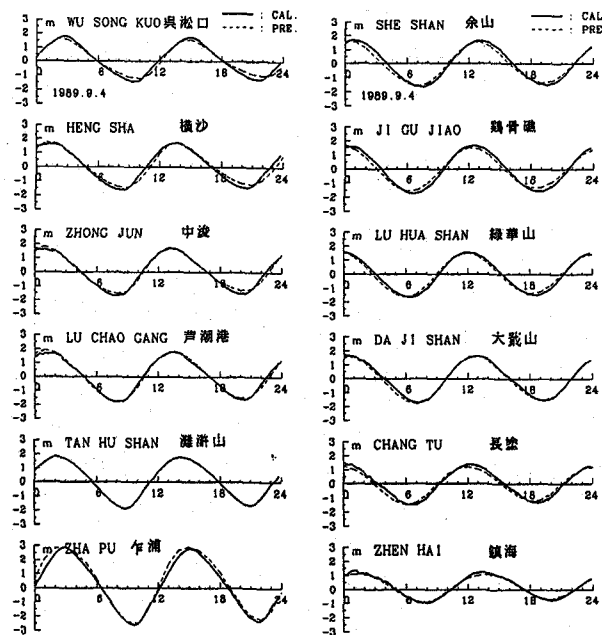


図8. 杭州湾12地点における潮位の
計算結果と後報値との比較

3. 杭州湾・長江口外海潮流の計算

狭い領域での計算は非線形理論に基づいて行なわれる。図7は計算に用いられたメッシュである。最小の格子は1.28kmで、最大の格子は3.83kmである。南と北の沖側境界では、広域計算の出力に加えて北崙港と横沙の潮位推算値を入力する。西側の境界のうち、杭州湾奥では浦の推算潮位、長江では石洞口での潮位推算値を使用する。

上海市の経済的發展に伴って、杭州湾北岸の金山に深水港を新設する計画があり、新港への航路として3種類の提案がなされている。図7には、それぞれを、実線、一点鎖線、点線で示す。

計算は1989年9月3日20時より9月4日24時までの28時間に対して行なった。図8には、域内における12地点での出力と潮位推算値との比較を示す。図9は、杭州湾に於て満潮と干潮時の流速ベクトルの分布である。半日周期間の毎時の流速ベクトルの集合を図10に示す。

図10より判るように、長江口の外海においては、流れは回転流となるが、杭州湾の北部では岸に沿った流れが卓越し、潮流は往復流となる。したがって、金山深水港の航路はこうした流れの傾向を参考にして決められるべきであろう。

4. おわりに

本計算で得られた結果を以下にまとめる。

(1) 東中国海に対し、潮汐波の数値計算を行なう場合、8分潮で計算すれば、現実の潮汐をきわめてよく表わすことができる。

(2) 東中国海において、大潮時の潮汐図の大勢はM₂分潮によって決められる。4箇所の無潮点の発生は、いずれも潮汐波伝播方向1/4波長の所に陸地境界があり、これからの反射波と重なる結果である。

(3) 江蘇省沿岸の沖に存在する放射状の水面下の砂州は、この周辺の潮流と対応して成立している。すなわち、南黄海における回転潮汐波に支配される流れが逆時計周りに変化し、長江口外海における進行潮汐波に支配される流れは時計周りに変化し、この二つの潮汐波システムの境では、流れが岸へ集中し、あるいは沖へ放射することとなるからである。

(4) 長江口外海における流れは回転流で、杭州湾の北岸での流れは往復流となる。金山深水港の航路は、こうした流れの傾向を参考にして決められるべきであろう。

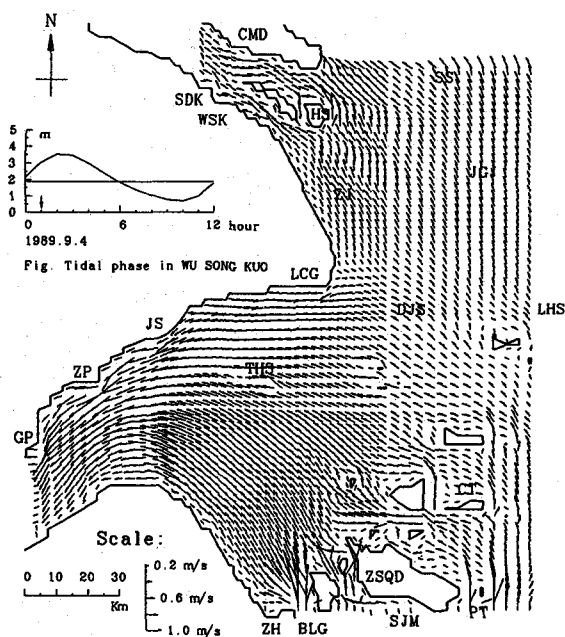


図 9.1 杭州湾満潮時の潮流ベクトルの分布

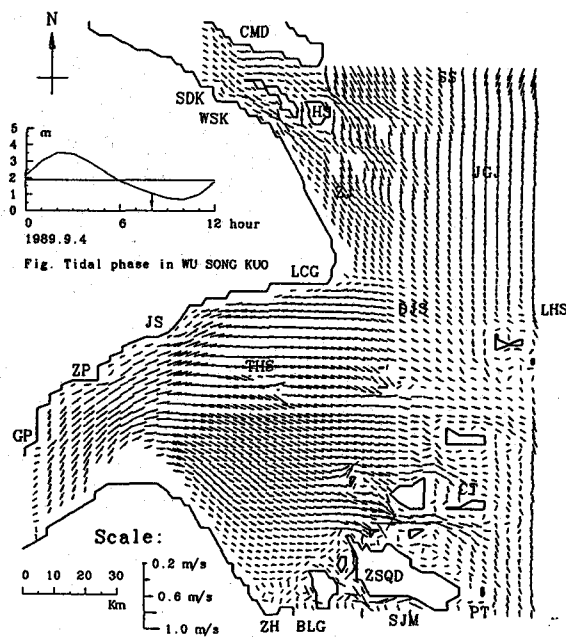


図 9.2 杭州湾干潮時の潮流ベクトルの分布

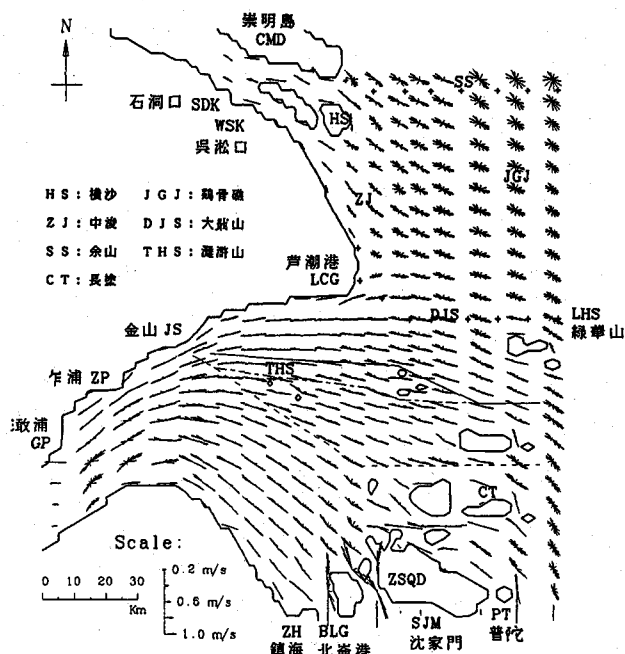


図 10. 杭州湾半日周期の間に 1 時間毎の
流速ベクトルの集合

【謝辞】

本計算を行なうに当たり、東北大学工学部
災害制御研究センター首藤伸夫教授より貴重
な御協力を頂いた。なお、本研究の一部は中
国国家自然科学基金により行なわれた。ここ
に記して謝意を表わす。

【参考文献】

- 1) 方国洪, 楊景飛 (1985) : 渤海潮運
動的一個二維数值模型, 海洋与湖沼, 1985
年9月。
- 2) Byung Ho Choi (1990) : Development of
Fine-grid Numerical Tidal Models of the
Yellow Sea and the East China Sea, 韓国海
岸・海洋工学会誌, 第2巻第4号p.231-244,
1990年12月。
- 3) 江蘇省海岸帶調查報告 1987