

台風 9719 号に伴う洪水による八坂川 河口沖干潟の地形変化の現地観測

Field observation of topographic changes of ebb tidal flat off Yasaka River mouth
in Oita Prefecture caused by flood associated with Typhoon 9719

宇多高明¹・清野聡子²・真間修一³・山田伸雄⁴
Uda, Takaaki, Satoquo Seino, Shu-ichi Mama and Nobuo Yamada

¹正会員 工博 建設省土木研究所河川部長 (〒305 茨城県つくば市旭 1)

²正会員 農修 東京大学大学院広域文化研究科広域システム科学科助手 (〒153 東京都目黒区駒場 3-8-1)

³(財)リバーフロント整備センター (〒102 東京都千代田区三番町 3-8)

⁴パシフィックコンサルタンツ(株)九州本社 (〒819 福岡県福岡市西区姪浜町 33-1)

Field observation of topographic changes of ebb tidal flat caused by the large flood associated with Typhoon 9719 was conducted at the Yasaka River mouth in Morie Bay in Oita Prefecture. Large amount of sediment deposited on the ebb tidal flat due to the flood of maximum discharge of around 1,500m³/s. Topographic changes were measured with an accuracy of 1 cm along four survey lines across the ebb tidal flat as well as aerial photographing of tidal flat right after the flood. Flood ran aground of the tidal flat from the meandering main stream of the Yasaka River to form many sand dunes. Numerical simulation of two dimensional flood flows was carried out and observed results were well reproduced by this numerical simulation.

Key words: Flood, ebb tidal flat, topographic changes, aerial photograph, numerical simulation.

1. まえがき

内湾に流入する河川の河口域などにおいては、しばしば規模の大きな干潟が発達する。これらの汽水域干潟は、多様な生物の生息場として非常に重要な場所を占めている。このような干潟の物理・化学的特性について、朴ら¹⁾は有明海の六角川河口域において潟の基礎的物性、土中温度、水位変動、栄養塩、酸化還元電位の変化を現地実測により明らかにしている。ところで、干潟は河川などから運ばれた細粒物質の堆積空間であって、細粒物質が集積してできた安定した空間であるが、条件によっては洪水起源の流出土砂が大量に堆積し、干潟面の著しい変化が生じることもある。近年自然環境の保全が重要視されているが、干潟もこの例外ではない。このような視点に立ったとき、自然現象としての洪水のインパクトを定量的に評価することは、人為的地形改変が干潟環境へ及ぼす影響を予測する上でも大いに役立つと考えられる。しかしながら干潟地形に大きな影響をもたらすような規模の大きな洪水の発生頻度は極めて低いために、このような点に着目した研究は

稀である。大分県杵築市を流れる八坂川河口沖の干潟では1997年9月16日に襲来した台風19号により大規模な洪水が発生し、安定していた干潟に大きな地形変化が生じた。このことから、本研究ではこの現象に着目し、洪水直後に干潟の空中写真撮影を行うとともに、現地踏査や詳細地形測量、ならびに洪水流の数値計算を行い、洪水による河口沖干潟の地形変化機構について考察する。

2. 八坂川河口沖干潟と台風 9719 号に伴う洪水の概況

守江湾は、図-1に示すように大分県杵築市、別府湾の北部に位置する面積約11.1km²の小湾である。湾南部には東側より住吉浜砂嘴が防波堤のように伸び、湾口を塞いでいる。守江湾には西側から順に、八坂川(流域面積147.4 km²)、高山川(35.3km²)、江頭川(8.9km²)、天村川(5.7km²)、住吉川(8.2km²)が流入している。これらのうち、八坂川および高山川の河口沖には面積約2.6km²(T.P. -1.0m以浅)の干

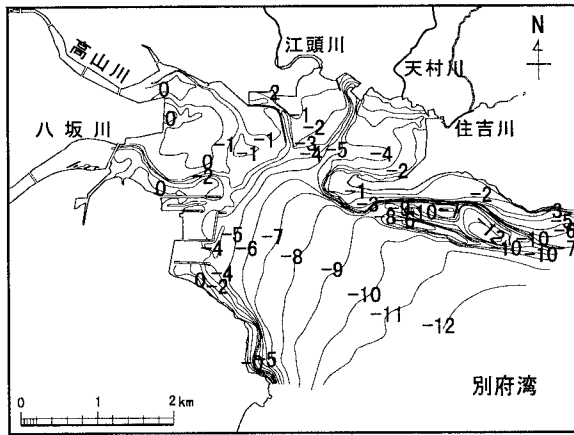


図-1 守江湾の干潟の地形

潟が広がっている。これに対して湾の東部へ流入する河川の規模は小さいために河口沖干潟の面積は小さい。

1997年9月16日、台風19号に伴う集中豪雨により八坂川流域では大洪水が発生した。この洪水による家屋の被害は床上浸水118棟、床下浸水72棟、また田畑の冠水は210haに及んだ²⁾。洪水のピーク流量は約1,500m³/sと推定されている。

3. 洪水作用直後の干潟状況

1997年9月30日の午後、干潮時に干潟の空中写真撮影を行った。当日は部分的に雲がある条件ではあったが、干潟状況をほぼ観察可能な空中写真を撮影することができた。図-2には空中写真の判読結果を示す。図には主要な地名も併せて記入してある。高山川の河口に架かる高山橋の直下流から高山川の流路が左に湾曲したあと交互砂州を形成しつつ対岸方向へと流れ、そこで護岸に沿うようにして再び直線的に流れ下っている。この流れに対して首捻防波堤が突出しているために、流れはその先端をかすめるようにして流下している。



図-2 洪水後の干潟面の判読結果

干潟上の流路はA, B間にあり、Aから高山川との合流点までには両者が重なり合っている。A付近での流路幅は約10mである。A, B間の流れの主要な起源は塩田地区南端部のC付近で干潟上に乗上げた流れと考えられる。なぜなら、CとBの間には北東方向へと滑らかに洪水流が流れたことが干潟面上の様相から判読されるからである。ただし、一部は高山川方面から干潟上流れ込んだ洪水が塩田地区の北東側端部を回り込んだことがAと塩田地区の間の干潟上にできた流路跡から判読される。しかしその規模は干潟面上に残された洪水流の痕跡の程度から考えて大きくない。結局、A, B間の流路では主として八坂川の洪水が流下したと考えられる。

A付近には流路跡に沿って滑らかな砂州が観察される。同様にBに隣接する流路跡に沿っても砂州が存在している。写真-1は、A付近において流路跡において上流方向、すなわち塩田地区の護岸を望みつつ撮影したものである。流路の北側に自然堤防状の砂州が形成されている。この砂州の高さは簡易測量によれば約0.5mであって粗砂で構成され、周辺のシルト質の干潟面とは明瞭に識別された。また、この砂州は低水路から約1/4勾配で砂州の頂点に達したあと干潟面になだらかに続いていた。これらのことから、流路跡に沿って形成された細長い模様は、主として塩田沖を通過した八坂川の洪水が形成した自然堤防状の砂州と判断される。

塩田地区南端部のCとその沖のD付近には鱗状の細長い模様が幾筋も観察される。この模様は上流側のE付近および塩田地区沖で不明瞭となる。洪水流は塩田地区南端部のC付近を通過して流下したことを考えると、この模様は直進してきた八坂川の洪水が干潟上に乗上げ、流速が低下したために掃流力が低下して土砂が堆積した際形成されたと判断できる。この状況をCから南～南東方向を向いて撮影したのが写真-2である。ボートのすぐ沖に水路が見えるが、この水路はCのすぐ南側に見える流路である。写真によれば、この流路沖には広い範囲にわたって規模の大きな砂堆が形成されていることが明らかであり、砂堆の向きはいずれの写真においても洪水流が右から左側へと流れたことを示している。

写真-3には、C, Dの中間地点での砂堆の撮影結果を



写真-1 塩田地区沖の流路跡に沿って形成された砂州



写真-2 塩田地区南部八坂川沖に形成された砂堆



写真-4 砂堆の波長(約5m)



写真-3 砂堆の波高(約0.3m)



写真-5 砂堆の上流域における生物活動が盛んな干潟面の状況

示す。砂堆は下流側では安息角に近い角度で急斜面を形成して堆積しているが、砂堆の上面は比較的平坦である。また、写真-3, 4によれば砂堆の高さは約0.3m、波長は約5mと読みとれる。この砂堆は強い3次元性を有しており、また砂堆の下流側斜面の掘削調査によれば既存のシルト質で、貝類を多く含む洪水前の干潟面上に粗砂層が重なっていることが観察された。この付近より上流のE付近では写真-5に示すように干潟面には洪水前と大きな変化は観察されず、生物活動が盛んな小さな凹凸が存在する干潟面の状況が観察された。

D付近の干潟面に形成された縞模様は、そこより南側のG付近まで幅広く伸びている。それらの干潟上における縞模様の前線は、GからAの方向へと伸びており、同じ干潟面でも波浪の作用が卓越すると考えられるH付近の沿岸砂州状の高まり³⁾とは干潟面の形状に大きな違いがある。

以上より、八坂川の洪水流は八坂大橋を通過したあと右に大きく湾曲する低水路を通過して流れただけでなく、一部は直進して干潟面上へも乗り上げたと推定できる。そして塩田地区沖では流路が急拡となるために掃流力が急減し、干潟面上に土砂の堆積をもたらした結果形成されたのが干潟面上の縞模様と考えられる。

4. 干潟面の地形変化の観測

測定精度約1cmでの詳細測量は図-2に示すように4測線で行った。測線No.1は塩田地区の北側において高山川沖の流路を横断するもので、塩田地区の北東側隅角部から対岸へと伸びる延長421mの測線である。測線No.2は納屋漁港から首捻り付近を結ぶ延長1,611mと最も長い測線であり、干潟をほぼ横断する測線である。測線No.3は八坂川河口部にある杵築大橋の下流300mにおいて八坂川を横断する測線である。測線No.4は杵築大橋下流の八坂川の左岸から灘手地区を結ぶ測線である。これらの測線のうち、測線No.1については台風前の1997年8月18日と台風後の9月27日に測量を行った。それ以外の測線では1996年8月6日と、台風後の1997年9月28日～10月17日に測量を行い、台風前後の干潟の地形変化を調べた。なお1996年の測量では測点間隔が約50mとやや粗いが、1997年8月18日～10月17日の測量では5mと非常に短い測点間隔とした上、著しい地形変化点の位置も測定した。

(1) 測線No.1での地形変化

塩田地区の北東側隅角部から対岸に伸びる測線No.1の横断図を図-3に示す。干潟の横断形状の変化を調べる際、横断測線上で特徴的な地点の位置を図

-2にも示すこととし、その場合測線 m の n 番目の測点という意味から、測点 m-n と表記する。測線 No. 1~4 についても同様に表記する。測線 No. 1 では左岸近傍に高山川の滞筋が走っている。図-2 によれば測点 1-1 では高山川の流路が灘手地区の護岸に当たり、流れの方向が約 50° 変化する湾曲部の内岸側に位置している。測点 1-1 より南側では干潟面の標高は急速に高まり、測点 1-2 での標高は約 0.37m となる。干潟の標高は測点 1-3 で 0.44m と最も高く、ここから塩田地区の護岸に接近すると再び低下する。測点 1-1 と 1-2 の間の平均勾配は約 1/114 であるのに対し、測点 1-2 と 1-3 の間の平均勾配は 1/1,571 と非常に平坦となる。同様にして測点 1-3 と 1-4 の間での平均勾配は 1/409 である。

図-3 には 8 月 8 日と 9 月 26 日の間で干潟の標高が増加した範囲をハッチで示している。これによれば測点 1-2 から 1-3 の間での堆積厚は 5cm 程度であるが、測点 1-1 のように高山川の湾曲部の内岸側で護岸に沿って流れたと考えられる測点 1-4 付近では大きく掘られている。測点 1-4 での地盤高の低下量は 34cm に達する。

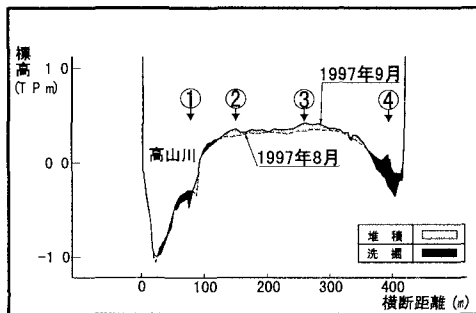


図-3 測線No.1 に沿う干潟の縦断形変化

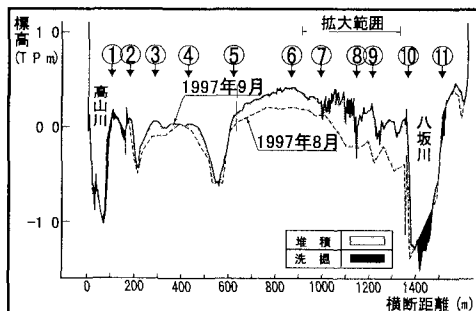


図-4 測線No.2 に沿う干潟の縦断形変化

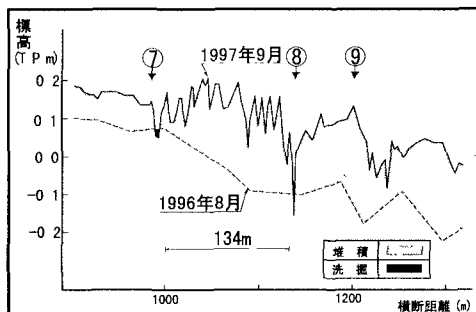


図-5 図-4の部分拡大図

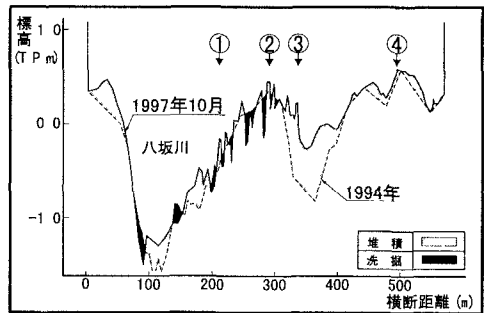


図-6 測線No.3 における河道横断形の変化

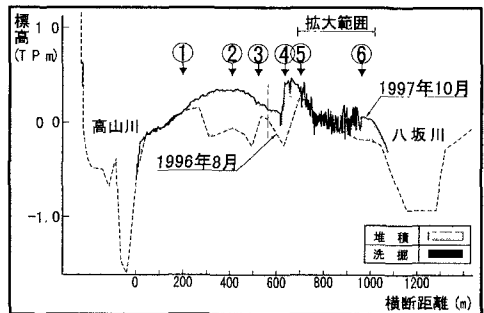


図-7 測線No.4 における干潟の縦断形の変化

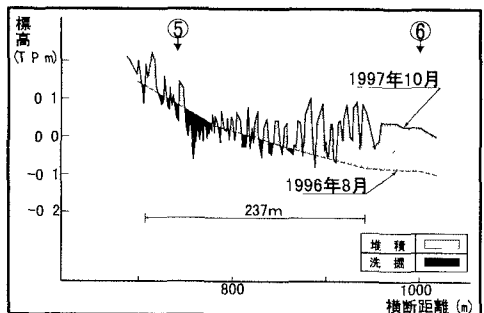


図-8 図-7の部分拡大図

(2) 測線 No. 2 での地形変化

図-4 には測線 No. 2 における干潟面の横断形変化を示す。図-2、4 を見比べながら北側から順に干潟の地形的特徴を調べると、高山川の流路が灘手地区の護岸に沿って直線的に伸び、その先にある首捻防波堤へと流路が縮流され、流れが加速されている測点 2-1 では河岸が侵食傾向にある。そこよりわずかに南側の測点 2-2 では小規模な水路が形成されているが、そこでは自然堤防状の土砂堆積が生じている。現地実測によれば、低水路路面からの自然堤防の高さは約 0.5m であったが、この高さは図-4 から読みとれる値と一致する。

測点 2-3、2-4 は、上述の干潟上の流路の右岸近傍の測点であって、標高はほぼ 0m であるが、この付近での堆積厚は 15cm 未満である。測点 2-4 から 2-5 の間では上述の流路が右岸側に接近するために低水路は -0.6m の深さになっている。測点 2-5 から 2-6 の間では干潟の標高が次第に増加し、測点 2-6 で地盤高は 0.43m となる。この間の勾配は 1/833 と非常に緩やかである。この範囲の干潟面は滑らかな表面を

有することで特徴付けられる。さらに、この区域では洪水によって干潟上に土砂が堆積しており、その堆積厚は測点 2-5 での 12cm から 2-6 での 20cm へと次第に増加している。測点 2-6 から 2-7 では一転して逆勾配の-1/857 となるが、測点 2-7 を過ぎると測点 2-8 までの間に 11 組の河床波が発達している。図-5 にはその拡大図を示す。測点 2-7 の最初のピークを基準として、隣りあうピーク間で河床波の波長を、また山とその次に現れる谷の標高差を河床波の波高とし、さらに平均すると平均波長は約 13m、平均波高は約 0.18m となる。図-2 によれば、この区域では鱗状の河床波が観察されるが、測線方向が河床波の発生方向を斜めに横断する形となっているため、実際よりも波長が長く出ていると考えられる。この区域でも大量の土砂が堆積しており、最大値は約 50cm に達する。河床波は測点 2-7、2-8 近傍の一部の点を除いて堆積土砂の上に重なっている。

河床波の発生区間を過ぎると、測点 2-9 までは干潟の地盤高は 0.2m 程度であるが、測点 2-9 からは 0m まで急速に低下し、そのあとわずかな変動を繰り返して測点 2-10 に達し、そこから八坂川の低水路へと伸びる。測点 2-10 は八坂川の低水路の内岸側に位置しているために、この場合も砂州の形成に伴う土砂堆積が進んでいる。ここでの堆積厚は 50cm である。

以上のように、測線 No. 2 では塩田沖の測点 2-5 を境に、そこより南側、八坂川の流路左岸側での土砂堆積量が大きい。塩田地区の南側護岸と八坂川沖の流路の間の干潟上に洪水が乗り上げた跡が残されていたが、この区域で土砂堆積が著しかったこととよく調和している。

(3) 測線 No. 3 での地形変化

図-6 には測線 No. 3 における横断形を示す。八坂川の流路は杵築大橋直下から東向きに直進して流れており、塩田地区の南護岸のほぼ中央部で南向きに流れの向きを大きく変える。図-6 には 4 測点を示したが、これらの測点はいずれも右岸側に位置している。測点 3-1 から 3-3 の間では砂州が存在し、最も標高が高い地点は測点 3-2 の 0.45m である。図-2 と対応させると測点 3-1 と 3-3 付近では再び鱗状の模様が見えるが、この区域には図-6 に示すように河床波の発達が見られる。ただし測線方向が河床波の発生方向とほぼ直角なために不規則な形状となっている。測点 3-3 から南側では八坂川に流入する小河川のみお筋が発達するために河床面が低下するが、ここではかなり厚く土砂が堆積している。しかし土砂の堆積も測点 3-4 では小さくなる。

(4) 測線 No. 4 での地形変化

図-7 には測線 No. 4 における横断形を示す。高山川から測点 4-1 付近までの間では 1996 年と 1997 年でほとんど地形変化は生じておらず、干潟面は安定している。しかし、測点 4-1 から 4-2 では干潟面は 1/840 勾配で高まりを示し、そこでは洪水前と比較して最大 50cm 干潟面の上昇が生じている。とくに測点 4-2 は、洪水前には延長約 270m のくぼんだ干潟面上にあ

ったが、洪水によってなだらかな高まりに変化したことが分かる。測点 4-2 でピークとなったあと、干潟面はなだらかに低下し、測点 4-3 では標高が 0.24m となる。測点 4-3 は、測線 No. 2 との交差点付近である。前述した測線 No. 2 では測点 2-2 から 2-4 の間での地形変化は大きくなかったが、測線 No. 4 でも測点 4-1 より東側（図中左）での地形変化は小さい。図-2 でこれらの測点位置を調べると、これらの測点は高山川の流域に属し、八坂川の洪水流の影響を受けにくい空間であったことが分かる。

図-7 において、測点 4-3 から上流方向に干潟面は低下傾向にあるが、測点 4-4 より 10m 下流側で地盤高が急速に上昇する。この付近には八坂川から洪水が乗り上げたことによって形成されたと見られる河床波を表す縞模様が見られる。測点 4-5 から 4-6 の間には数多くの河床波が見られるので、図-8 にはそれらの拡大図を示す。この場合、河床波の平均波長は 8.0m、平均波高は 0.16m である。また、河床波の形成範囲の地盤高は、測点 4-5 から 240m までは平均地盤高には変化がなく、上流側の測点 4-6 付近では約 25cm の土砂堆積が生じている。

測点 4-6 付近では直進してきた八坂川の流路がほぼ直角に曲がる。このためその内岸側となる干潟面上には舌状で、表面が滑らかな区域が伸びている。図-7 における測点 4-6 より上流側のなだらかに標高が減少する区域がこれに対応すると考えられる。

5. 洪水流の数値計算

八坂川の洪水による河口沖干潟への土砂の堆積状況を分析するために、潮位と流量ハイドログラフを与えて 2 次元不定流計算を行った。計算範囲は、河口の上流 6.4km に位置する八坂橋から河口までとし、計算領域を 25m メッシュで分割した。計算定数のうち、粗度係数は河道においては 0.035、干潟においては 0.030、氾濫原では 0.3 とした。図-9 には洪水時の潮位変化と、流量ハイドログラフを示す。

図-10 は、9 月 16 日洪水時のピーク流量となった 15 時を挟む、14 時から 16 時の流速の平面分布と代表地点の流速ベクトルである。図-9 に示したように流量のピークは干潮時より約 1 時間後であり、全体に潮位が低い状態において洪水流が作用したことが特徴である。9 月 16 日の 13 時はほぼ干潮時であると同時に流量が 470m³/s と小さかったために、河口沖干潟の大部分は干出していた。しかし図-10 の平面流況によれば、14 時には、洪水流は塩田地区の南側で右に大きく湾曲したあと納屋漁港の北側で左に曲がり、全体に S 字カーブを描いて守江湾へ流出している。河口沖の滞筋に沿った流れが強まり、両側の干潟上にあふれるようにして洪水が流れている。15 時には流量がピークに達した。この時潮位は-0.3m と、低いままである。潮位が変わらずに流量が増大したために、河口沖の滞筋に沿って強い流れが発生

している。そして河口沖干潟では滞筋から流れ込んだ洪水流の流速が場所的に見て急速に低下している。このように流速が低下すれば干潟上では掃流力も低下し、土砂が堆積すると思われるが、得られた流速分布パターンは、空中写真の判読や洪水前後の深浅データ、および現地踏査から得られた土砂の堆積域の広がりをよく説明している。また、塩田地区の南東側隅角部を通過して高山川方面へと向かう支流が形成された点も実測結果とよく対応する。

ピークを過ぎた 16 時には潮位が 0.2m まで上昇したが、流量が 1,150m³/s と急速に減少したために、ピーク前の 14 時の流況とよく似たものとなった。

結局、洪水による干潟上の土砂堆積量の定量的評価は別として、干潟面上への堆積現象の理解が可能になるとともに、少なくとも堆積範囲については 2 次元不定流計算の結果により空中写真判読結果、現地踏査結果、さらには測量結果を説明できることが分かった。

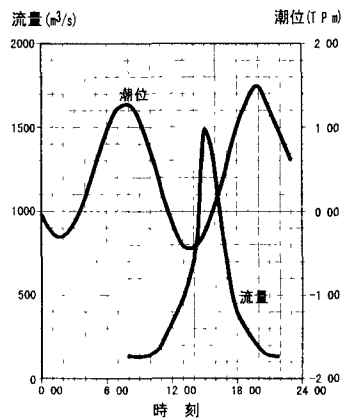


図-9 洪水時の潮位変化と流量ハイドログラフ

6. まとめ

1997 年 9 月 16 日に発生した八坂川の洪水による河口沖干潟の地形変化について、広域の干潟面の情報を集めるために空中写真撮影を行うとともに、干潟面の現地踏査および詳細な地形測量を行った。この結果、干潟面上に洪水流が乗り上げるようにして流れたことによって砂堆を形成しつつ干潟面上に土砂が堆積したことや、低水路の湾曲部内岸側では洪水前と比較して砂州の形成にともなって堆砂が促進されたこと、さらには河川の蛇行部外岸側に洪水流が乗り上げた場合、自然堤防状の高まりが形成されたことなどが実証的に明らかになった。また空間的に大きな広がりをもつ干潟の面的調査に空中写真の利用が有効なことが明らかになった。さらに、洪水の実測流量ハイドログラフを与えた 2 次元不定流計算の結果は、空中写真の判読結果、現地踏査および詳細測量の結果をよく説明するものであった。

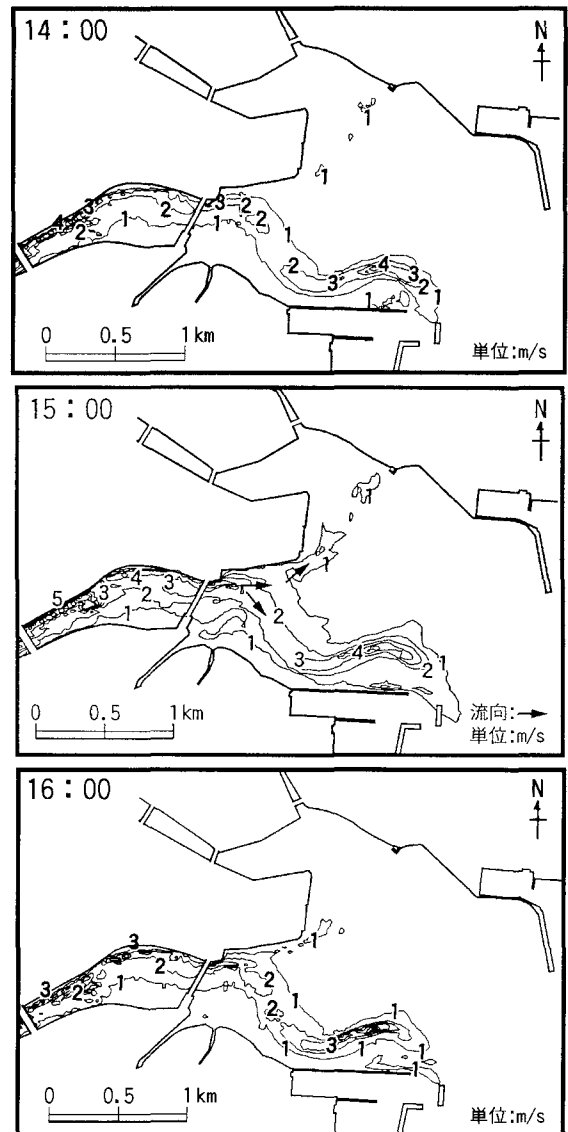


図-10 2次元不定流計算による干潟周辺の平面流速分布

今後、各地の干潟の面的調査に同様な手法を適用するとともに、洪水によって干潟上に形成された砂堆や微地形の波や潮流による長期的変化についても調査を行っていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 朴 鐘和・中山哲蔵・瀬口昌洋 (1997) : 干潟底生生物の生息環境に関する現地調査、海岸工学論文集、第 44 巻、pp. 1161-1165.
- 2) 清野聡子・前田耕作・宇多高明 (1998) : 地域固有の価値観・歴史性・稀少生物の保全と河川改修への取り組み、第 4 回河道の水理と河川環境に関するシンポジウム論文集、pp. 159-164.
- 3) 清野聡子・宇多高明・真間修一・三波俊郎・芹沢真澄・古池 鋼・前田耕作・日野明日香 (1998) : 絶滅危惧生物カブトガニの生息地として見た守江湾干潟の地形・波浪特性、海岸工学論文集、第 45 巻、pp. 1096-1100.

(1998. 9. 30 受付)