

台風0918号による三河湾の高潮について

Storm Surge in Mikawa Bay Caused by Typhoon No. 0918

青木伸一¹・加藤 茂²

Shin-ichi AOKI and Shigeru KATO

An extraordinary high tide was induced by the storm surge in Mikawa Bay, caused by Typhoon 0918 in October, 2009. One of the unique and important characteristics of the storm surge is a sudden sea level rise of 2m in one hour, which occurred after the Typhoon passed by. In this paper, generation mechanism of such a sea level rise and dynamics of the surge is discussed using the ADCP current data obtained during the storm as well as the tide and wind records at the observation stations around the bay. The wave-like behavior of the surge indicates that the main cause of the sudden sea level rise may be attributed to the propagation of water mass from Ise Bay triggered by the sudden change in wind direction. Furthermore, tide records in Mikawa Port for 30 years were analyzed and the risk of the disaster by the storm surge was discussed.

1. はじめに

2009年10月8日に伊勢湾・三河湾を襲った台風18号は、三河湾奥にT.P.+3.15mの高潮（最大潮位偏差2.6m）をもたらした。これは、1959年の伊勢湾台風による三河湾の高潮（T.P.+3.30m：三河港既往最高潮位，最大潮位偏差2.6m）にほぼ匹敵するものであった。この高潮により、田原市では市内を流れる汐川が溢水して家屋が浸水した（床上浸水：46棟，床下浸水90棟）。また三河港では、岸壁上の輸出自動車の冠水や空コンテナの浮遊散乱が生じた。幸い人的被害は発生しなかったものの、今回の高潮は三河湾における高潮災害の危険性を再認識させるものとなった。

近年我が国では、1999年の台風18号による八代海（不知火海）での高潮災害（滝川，2000；滝川・田淵，2000），2004年の台風16号による瀬戸内海各地での高潮災害（加藤ら，2005）など，高潮や高波の被害が数多く報告されるようになってきた。海外でも，2005年にハリケーン・カトリーナによる大規模な高潮災害が発生するなど，地球規模での気候変動との関連から高潮災害の危険性の増大が指摘されている（山下，2005）。高潮に関する研究はこれまでも数多く実施されているが，局所的で急激な潮位上昇が発生するメカニズム等まだ不明な点も多く，予測技術の面でもさらに研究を進める必要がある。

本論文では，2009年の18号台風による三河湾の高潮について，各地の験潮場の潮位データおよび湾内での種々の観測データをもとに，今回の高潮の実態とその特徴を

とりまとめた。また，高潮発生時に湾奥および湾口部で観測された流れのデータをもとに，三河湾奥での急激な潮位上昇のメカニズムについて考察を加えた。さらに，三河港における近年の潮位データの解析を行って三河湾における高潮の実態を把握した。

2. 高潮発生時の気象条件

台風0918号は，2009年10月7日夜に日本列島に接近し，8日未明から早朝にかけて，図-1のような経路で三河湾の西側を通過した。この経路は，1953年に三河湾沿岸に高潮浸水災害をもたらした13号台風（中島，1954）に近いルートであった。後述するように，今回の台風は非常に強い風を伴っており，これが大きな高潮を発生させる主要因になったと考えられる。図-1には，本研究で用い

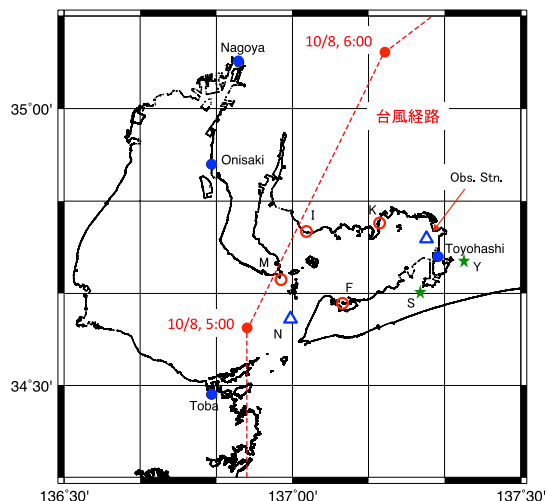


図-1 台風0918号の経路と観測地点（I：一色，K：形原，F：福江，M：師崎，Y：柳生川，S：汐川，N：中山水道）

1 正会員	工博	豊橋技術科学大学教授 建築・都市システム学系
2 正会員	博(工)	豊橋技術科学大学准教授 建築・都市システム学系

た潮位データ等の観測点も同時に示してある。

図-2に、台風接近時の気象条件（風速，風向，気圧）を示す。ただし，風速（平均風速）・風向（16方位：4 = E, 8 = S, 12 = W, 16 = N）については三河港における5分毎の観測値（愛知県）を，気圧については伊良湖測候所のSYNOP海面気圧データを用いている。これより，伊良湖岬に最も接近した午前5時には気圧957.5hPaを記録していることがわかる。また三河港の風は，4時から5時前にかけて最も強くなっており，平均風速で30m/sを越える風が1時間程度吹き続けていたことがわかる。風の記録で最も特徴的な点は風向の変化であり，5時ごろまでは東風（風向 = 4）であったのに対し，台風の通過に伴って1時間程度の間に風向きが一気に西風（風向 = 12）に変わり，風速も一旦減少した後再度増大している。すなわち，台風接近時の強い東風から風速を保ったまま西風に急変したことがわかる。後述するように，著者らは，この風向きの急変が三河湾に大きな高潮をもたらした一つの要因ではないかと考えている。

3. 各地の潮位記録

図-3は，三河港内における1分毎の潮位記録を，天文潮位および潮位偏差とともに示したものである。これより，三河港の最高潮位はT.P. + 3.15m，最大潮位偏差2.6mであったことが確認できる。特に今回の高潮で特徴

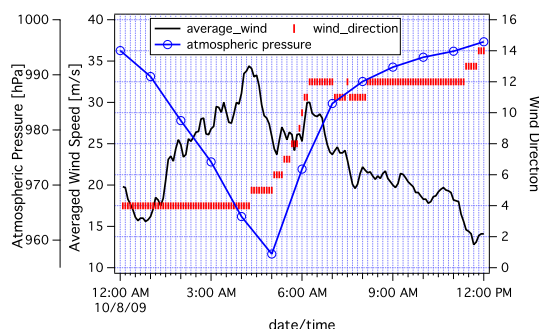


図-2 台風通過時の風速，風向，気圧変化

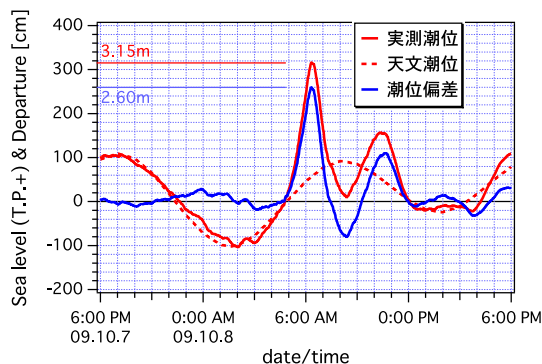


図-3 三河港の潮位変動（国土交通省三河港湾事務所提供）

的な点は，水位の上昇が気圧の低下量や風速が最も大きくなった時点で発生したのではなく，台風通過後に急激に発生した点である。図に示すように，5時から6時の1時間程度の間に2m以上の水位上昇が生じている。またそのタイミングは，風速がやや減少し，東から西向きに風向きが変わろうとしている時に対応していることがわかる。さらに，ピーク発生後に比較的大きな振動が観測されており，最初のピークの4時間後に潮位偏差1.1m程度の第2のピークが現われている点も興味深い。幸い天文潮位のピークが2つの高潮のピークとずれていたために大きな被害につながる水位までには達しなかったが，極めて危険な状況であったことがわかる。

一方，伊勢湾側の潮位観測点（図-1の鳥羽，名古屋，鬼崎）で記録された潮位変化を調べたところ，これらの点ではほとんど同程度の高潮が観測されていたことがわかった。図-4は鳥羽と名古屋での潮位偏差を示しているが，潮位偏差は鳥羽で最大でも1.3m程度であったと思われる。また，この最大潮位偏差は4時から5時の東風最強時に発生していることがわかった。さらに，伊勢湾側の第2のピークは，最初のピークから8時間程度遅れて発生していた。このように，気圧の低下，風速ともに大きな影響を受けたと思われる伊勢湾側の高潮よりも，台風が通過した後に発生した三河湾側の高潮の方が2倍程度大きかったことは高潮防災を考える上でも注目すべき事実である。

図-5は，三河港内に高潮が発生した時間帯における三河湾内各地の愛知県の潮位観測点（形原：K，一色：I，福江：F，師崎：M，図-1参照）での水位記録をプロットしたものである。これより，三河港以外の点ではそれほど大きな水位上昇が記録されておらず，水位の上昇速度も比較的緩慢である。すなわち，今回の高潮は三河湾奥で局所的に増幅した高潮であったことが確認できる。

図-6は，三河湾奥に流入する，豊橋市と田原市の中心部を流れる中小河川（柳生川：Y，汐川：S，図-1参照）の水位記録を示したものである。観測点はいずれも三河港から数km内陸部に位置しているが，TP + 3.5m程度の

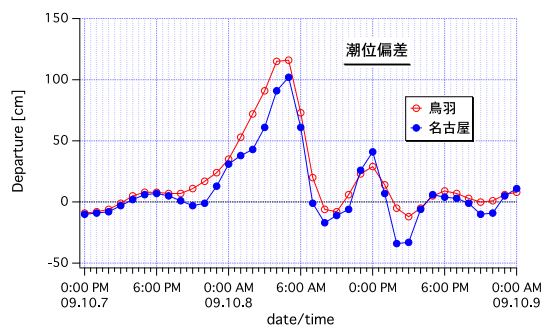


図-4 伊勢湾側各地の潮位変動（気象庁データによる）

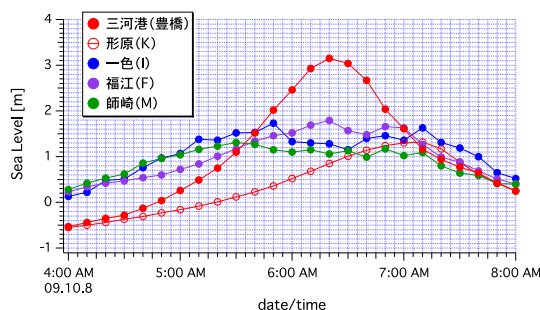


図-5 三河湾内各地の潮位変動 (愛知県データによる)

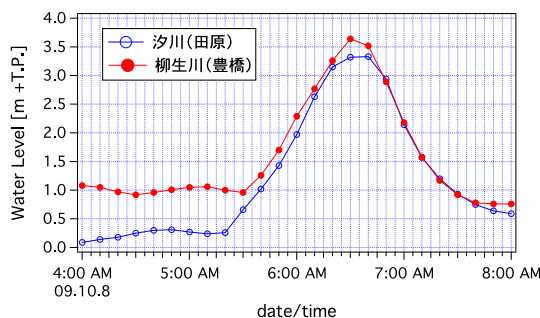


図-6 流入河川内の水位変動 (愛知県データによる)

水位が記録されている。特に汐川では1時間程度の中に3m以上河川の水位が上昇し、前述の通り溢水による家屋の浸水被害が発生した。柳生川においても、沿岸住民に避難勧告が発令される等、溢水の一手手前まで水位が上昇し、非常に危険な状態となった。

4. 急激な水位上昇の発生メカニズムについて

著者らは、別目的ではあったが、台風来襲時に三河湾奥の豊川河口沖で流れと水質の連続観測を実施していたため、高潮発生時の海域の詳細なデータを取得することができた。高潮発生時の流れについては、これまでほとんどデータが取得されておらず (上嶋, 1982)、今回のデータは貴重な記録となった。ADCPの設置位置は、河口沖約2km、水深8-9mの地点の海底であり、10分間隔で1分平均の流速データを鉛直方向に1m間隔で取得した。以下では、このADCPのデータをもとに、急激な水位上昇の発生メカニズムについて考察する。

図-7は、著者らが観測した水位データを三河港の水位および観測点に最も近い豊川河口 (前芝) の潮位データと比較して示したものである。ただし、前芝のデータは最大潮位発生時以降5時間程度欠測となっている。三河港と前芝の潮位データはT.P.基準であるのに対し、著者らのデータは観測期間中の平均水面を基準に示していること、またADCPの水位データは水圧換算値であるため気圧低下時は誤差を伴うことなどから若干のずれが見ら

れる。しかしながら、急激な水位の上昇特性は三河港内とほぼ一致しており、豊川河口域においても、港内と同様の水位上昇が発生していたことがわかる。

図-8は、海底面上1m (底層) と6m (表層) の位置での東西方向流速 (東向きが正) および南北方向流速 (北向きが正) の時系列をプロットしたものである。東西方向流速については、水位変動がピークを示す時刻の約1時間前に表層、底層とも同位相で同程度 (約38cm/s) の東向きの最大流速が生じており、水位が最大となる6時ごろには流れが止まり、その後西向きに反転している。一方、南北方向流速については、東西方向よりもやや先行して流速が大きくなっており、やはり表層、底層とも同位相で40cm/s程度の大きな流速が生じている。さらに特徴的な点は、東西方向流速が水位のピーク時を境に流れの向きが反転しているのに対して、南北方向流速は常に北向きの流れとなっていることである。

以上の水位や流れの観測結果から、1) 湾奥での水位

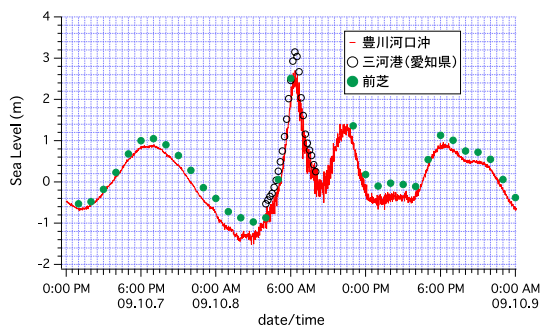


図-7 豊川河口部での潮位変化

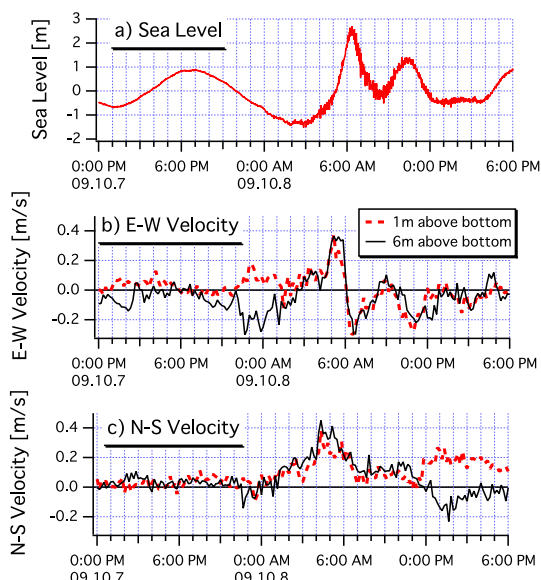


図-8 豊川河口部での流れ (a: 水位変動, b: 表層および底層の東西方向流速, c: 表層および底層の南北方向流速)

上昇が急激で局所的であったこと、2) 高潮発生時の流れが表層と底層で同程度・同位相で発生していること、3) 東西方向流速において水位ピーク発生時に流れの反転が見られること、等が明らかになった。これらから判断すると、今回の高潮は波動的な性質を強く持っていたことが推察される。特に2) の特徴については、図-8の東西流速に見られる0:00AM前後の流れや、南北流速に見られる2:00PM前後の流れが表層と底層で逆位相になっていることと比較して特徴的であり、通常の強風によってもたらされる鉛直循環的な流れとは性質が異なっていることがわかる。上嶋(1982)は、広島湾で台風来襲時(1m程度の潮位偏差を伴う高潮が発生)の流速を取得しているが、表層と底層で流れの向きが逆転する明確な鉛直循環流となっており、今回観測された同位相の流れとは大きく異なるものである。また、1) については、何らかの共振現象の発生が、3) については、湾奥での波動の反射に対応していると考えられ、これらも今回の高潮の波動性を裏付けるものである。

以上の考察から今回の高潮の発生状況を推定すると、午前5時ごろまでの強い東風により伊勢湾側の水位が全体的に上昇した後、急激に風向きが西に反転したため、伊勢湾側の水塊が一気に波動として三河湾側に流入してきたのではないかと考えられる。この仮説は、三河湾側の水位が、風速が一旦減少して反転するタイミングで急激に上昇していることや、伊勢湾側の水位がピークを示してから約1時間30分後に三河湾奥で高潮が発生しており、長波の伝播速度(三河湾の平均水深を約10mとすると伝播速度は36km/h、三河湾口から湾奥まで約40km)から計算すると時間的にほぼ対応することなどから裏付けられるであろう。また、図-8の南北方向流速が高潮発生時に常に北向きとなっている点に注目すると、湾口から伝播してきた高潮の波動がケルビン波的に三河湾の南岸から岸沿いに伝播して北上している様子も伺えるが、これについては十分な根拠を有していない。

上記の仮説を確認するために、三河湾口に位置する中山水道(図-1のN地点)で国土交通省が実施している流況のモニタリングデータ(伊勢湾環境データベース、2010)を取得した。図-9は、中山水道での水深、表層流速(東西、南北、海底面上約12mの位置)および底層流速(東西、南北、海底面上約2mの位置)をプロットしたものである。流速はいずれも10分間隔(1分平均)で取得されている。これより、風速が反転する4時から6時にかけて、強い北東方向の流れ(三河湾に流入する方向の流れ)が観測されており、6時ごろに湾奥で水位のピークをもたらし水塊の流入を裏付けるものとなっている。さらに、湾口部でも表層流速と底層流速が同程度となっており、水塊が全水深で一気に流入している様子が

うかがえる。

5. 三河湾における高潮の発生状況

ここでは、過去の三河港での潮位データをもとに、近年の高潮の発生状況を検討する。図-10は1981年から2009年までの30年間の三河港内の潮位観測記録のうち、8月から10月までの期間での潮位偏差の毎年の最大値を頻度分布として表したものである。ただし、本解析では1時間毎の潮位データをもとに行っているため、今回観測された2.6mの潮位偏差はとらえられていない。この図より、最頻値は30cm - 40cmと小さく、今回の高潮が突出して大きな値を示していることがわかる。ただし、30年間に台風起因する1m前後の潮位偏差が数回観測されており、中規模の高潮は数年に1回程度は発生していることがわかった。1m程度の高潮であっても、発生タイミングや降雨による河川の増水などと複合して災害を

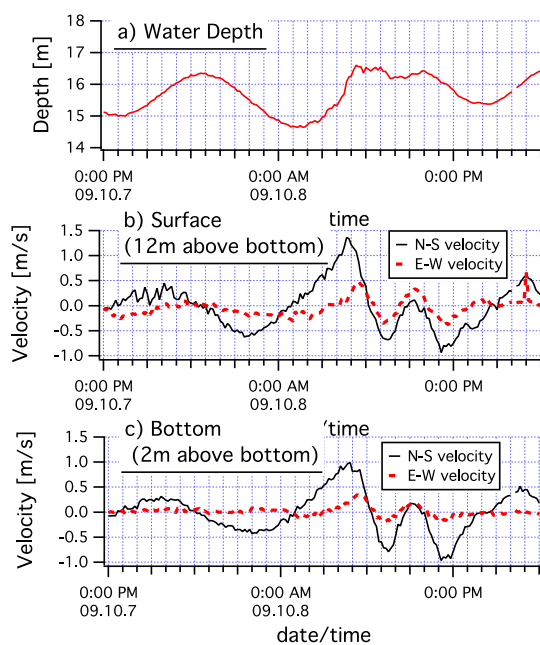


図-9 中山水道での流れ (a: 水深, b: 表層における東西方向および南北方向流速, c: 底層における東西方向および南北方向流速)

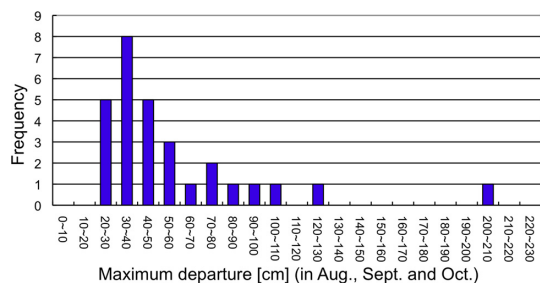


図-10 三河港における近年の潮位偏差

誘引することが予想されるため、三河湾沿岸域および三河湾に流入する河川周辺地域の高潮防災について、より慎重に検討しておく必要があろう。

6. おわりに

本研究では、種々の実測データをもとに、台風0918号による三河湾の高潮の実態とその発生メカニズムについて考察した。得られた知見をまとめると以下の通りである。

- (1) 台風0918号は、最大潮位T.P. + 3.15m, 潮位偏差2.6mという伊勢湾台風時に匹敵する大きな高潮を三河湾奥にもたらした。
- (2) この高潮は、台風が通過した直後に、風向が急変するタイミングで急激に水位上昇が生じた点が特徴的である。
- (3) 湾奥で観測した流速データおよび湾口での流速データから、この急激な水位上昇のメカニズムは、東風により伊勢湾側に発生した1m程度の高潮の水塊が風向きの急変とともに波動として三河湾側に流入したことが大きな要因ではないかと推察された。
- (4) 三河港の過去30年間の潮位記録を整理し、台風時期の最大潮位偏差を調べたところ、1m前後の高潮は数年に1回程度発生していることがわかった。

以上より、三河湾における高潮の発生メカニズムはかなり複雑であり、伊勢湾との相互干渉や、湾奥浅海域での高潮の波動としての挙動など、まだ未解明な点が数多く残されていることがわかった。今後は、さらに現地デ

ータを詳細に解析し、湾奥での水位増幅のメカニズムなど高潮の波動性に着目した研究を進める予定である。

防災面からは、今回の高潮が豊橋市や田原市の市街地を流れて湾奥に流入する河川の水位を大きく上昇させたことから、高潮対策は港湾域や沿岸域だけでなく、市街地の防災対策として位置づけ対策を急ぐことが必要であることが認識された。

謝辞：本研究を行うにあたり、国土交通省中部地方整備局三河港湾事務所、愛知県建設部、田原市防災対策課の皆様には、観測データの提供等多大なご協力をいただいた。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 上嶋英機 (1982) : 台風通過に伴う物質輸送の変化, 第29回海岸工学講演会論文集, pp. 549-598.
- 加藤史訓・稲垣茂樹・野口賢二・福濱方哉 (2005) : 2004年の高潮・高波災害, 国土技術政策総合研究所, 第273号, 97p.
- 国土交通省中部地方整備局 : 伊勢湾環境データベース, <http://www.isewan-db.go.jp/>, 参照2010-05-19.
- 滝川 清 (2000) : 台風9918号による不知火海高潮災害, 土木学会誌, 第85巻, pp. 41-45.
- 滝川 清・田淵幹修 (2000) : 台風1918号による不知火海の高潮と波浪特性, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 291-295.
- 中島 武 (1954) : 台風13号による愛知・三重海岸災害の現状と対策, 海岸工学研究発表会論文集, pp. 113-129.
- 山下隆男 (2005) : ハリケーン・カトリナによるニューオーリンズの高潮災害, 土木学会誌, 第90巻, pp. 39-43.