

2019年台風15号による横浜港 沿岸被害と波浪特性

田村 仁

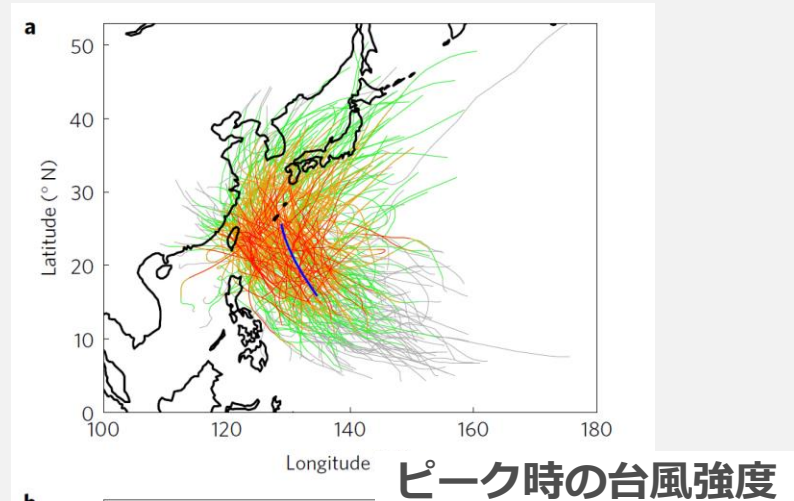
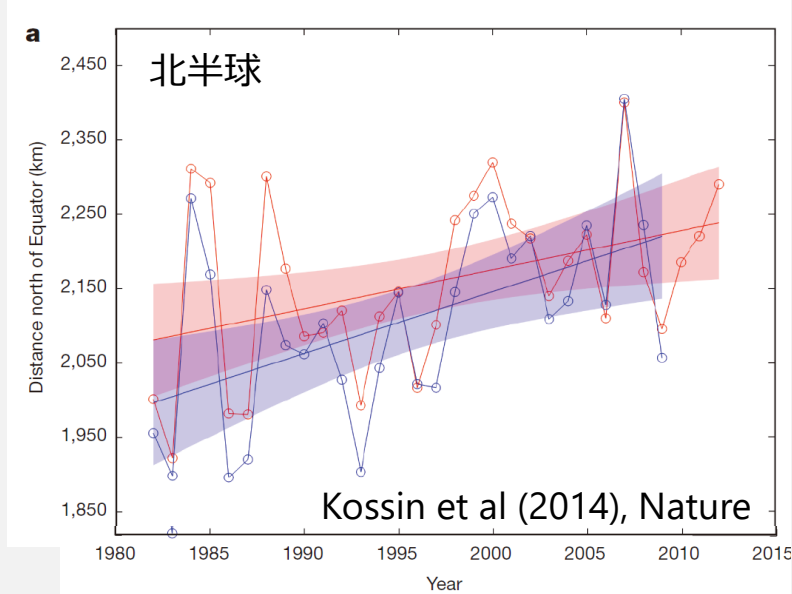
港湾空港技術研究所
海洋利用研究領域

htamura@p.mpat.go.jp

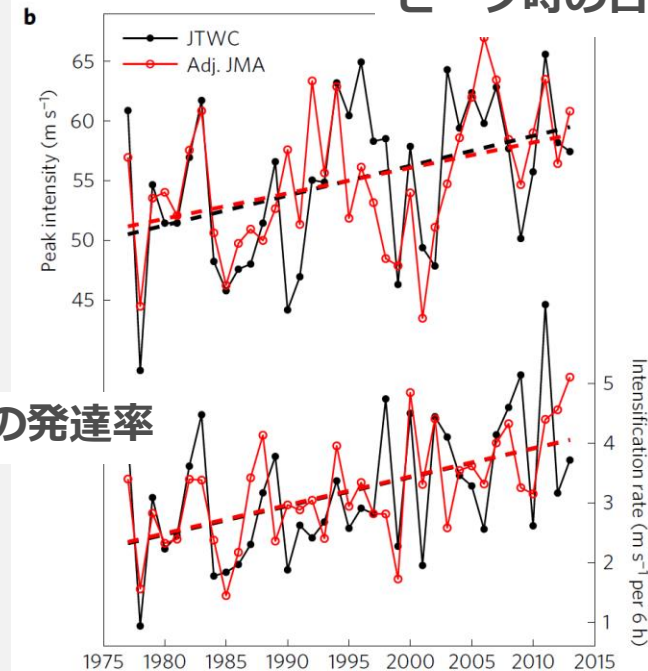
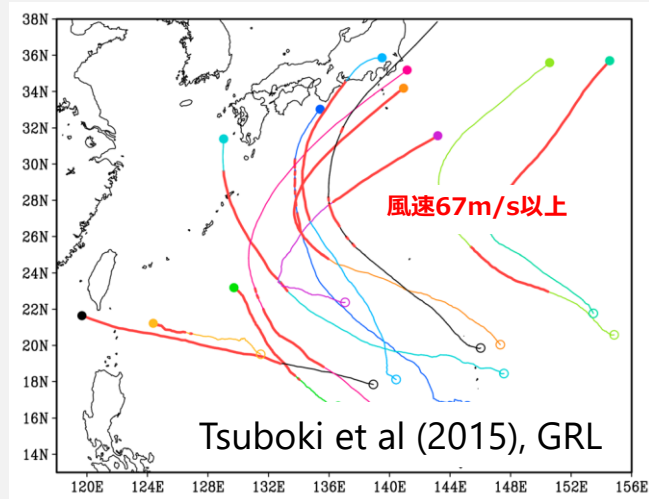
- Tamura, Kawaguchi, Iwamoto & Fujiki (2021) Coastal destruction and unusual wave spectra induced by Typhoon Faxai in 2019, Coastal Engineering Journal, 63:1, 92-105, DOI: 10.1080/21664250.2021.1877944
- 田村・川口・岩本・藤木(2021) 2019年台風15号による横浜港に襲来したうねり性の波浪, 港湾空港技術研究所 報告 60-1-2
- 田村・川口・加島(2021)2019年台風15号による横浜港での波浪外力, 土木学会論文集B2(海岸工学)/77巻2号

日本における台風リスクは年々増大している

熱帯低気圧の最大強度の極向き移動



温暖化気候で発生したスーパー台風トラック



台風の発達率

Mei and Xie (2016), Nature Geo.

日本南岸に接近する台風特性が変化している

気象研究所 報道発表 令和2年8月25日

「過去40年で太平洋側に接近する台風が増えている」

- ・ 強度がより強くなっている
- ・ 移動速度が遅くなっている

Yamaguchi and Maeda (2020), JMSJ

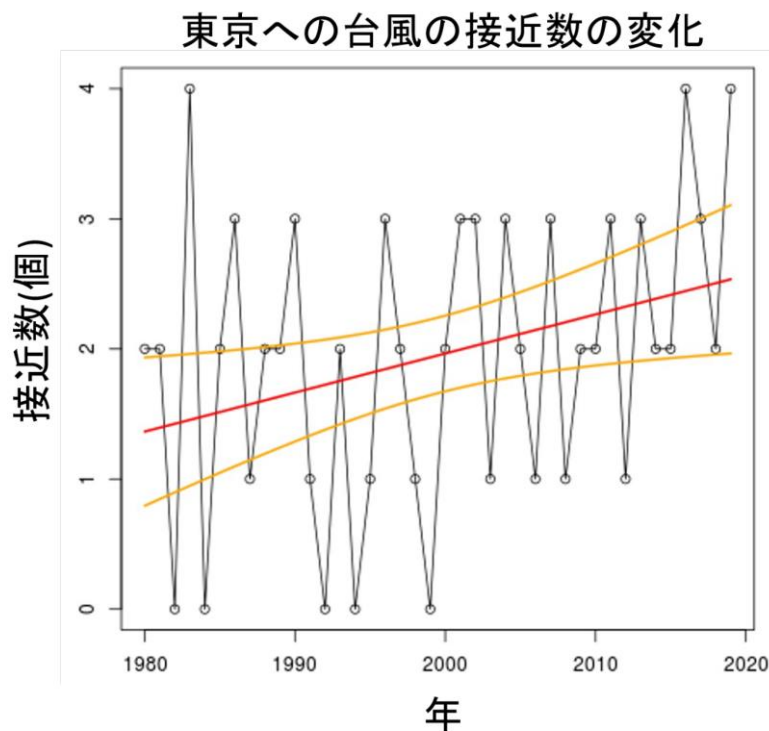
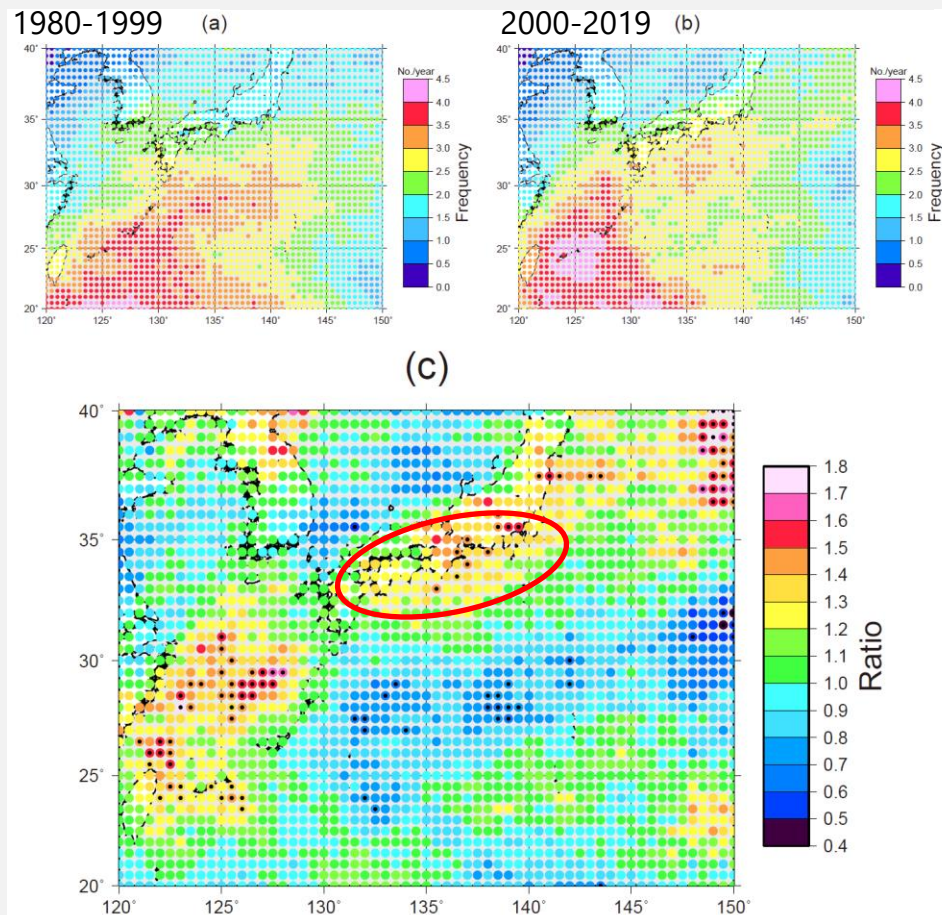
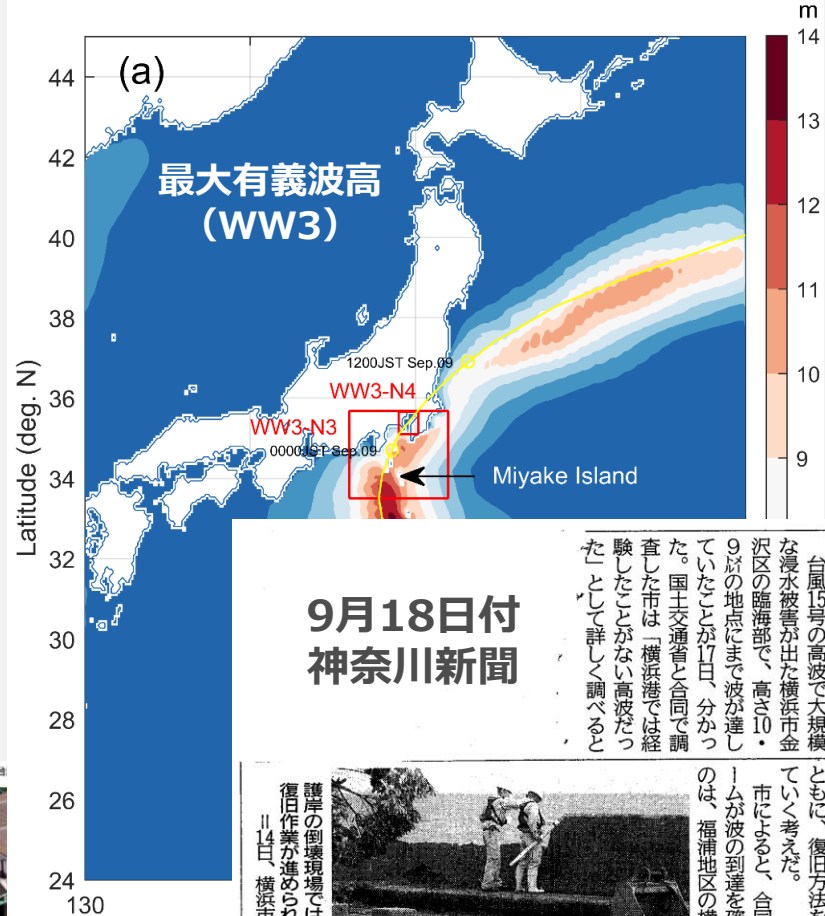
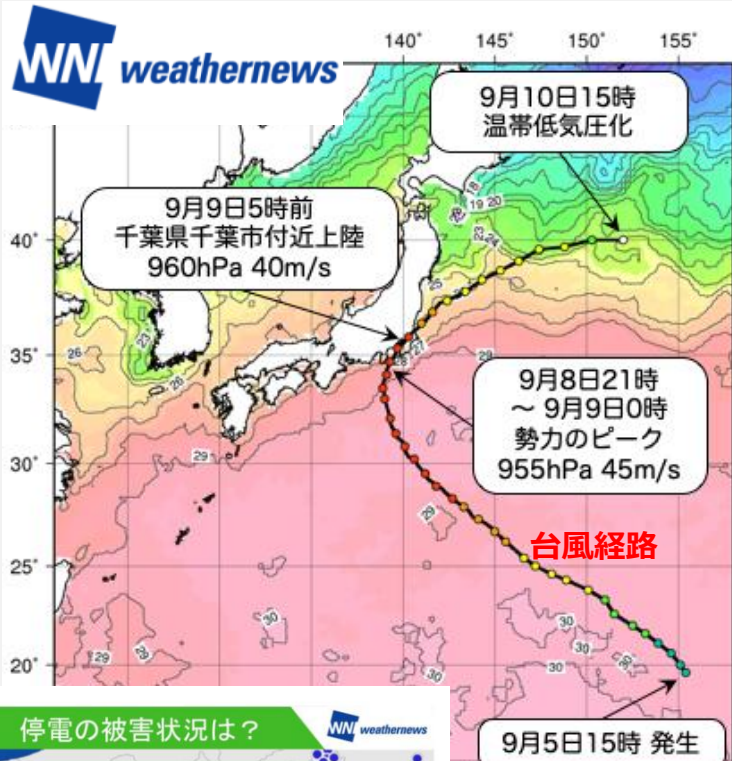


図1. 東京に接近した台風の数を経年変化。横軸は年、縦軸は各年の接近数。赤線は回帰直線、橙線は95%信頼区間を表している。増加傾向は統計的に有意である。



2019年台風15号(アジア名: Faxai)



房総半島で大規模停電

朝日新聞デジタル > 世田谷で強風にあおられ50代女性死亡



ゴルフ練習場のネットが倒れ、鉄柱が住宅を直撃した＝2019年9月9日午前9時13分、千葉県原市、朝日新聞社ヘリから、迫和義撮影

9月18日付 神奈川新聞

台風15号の高波で大規模な浸水被害が出た横浜市金沢区の臨海部で、高さ10・9mの地点にまで波が達していたことが17日、分かった。国土交通省と合同で調査した市は「横浜港では経験したことがない高波だった」として詳しく調べると



ともに、復旧方法を検討していく考えだ。市によると、合同調査チームが波の到達を確認したのは、福浦地区の横浜ヘリのは、東京湾の平均海面から約90m高かったという。市港湾局の中野裕也局長は同日開かれた市会国際・経済・港湾委員会での「想定外の波浪だった。東京湾の中でこれほどの波が立つとは思わなかった」と強調。浸水被害が福浦、幸浦両地区のほぼ全域の約3・6平方メートルに及ぶことから、国の災害復旧事業の対象となるよう政府に要請していく考えを示した。

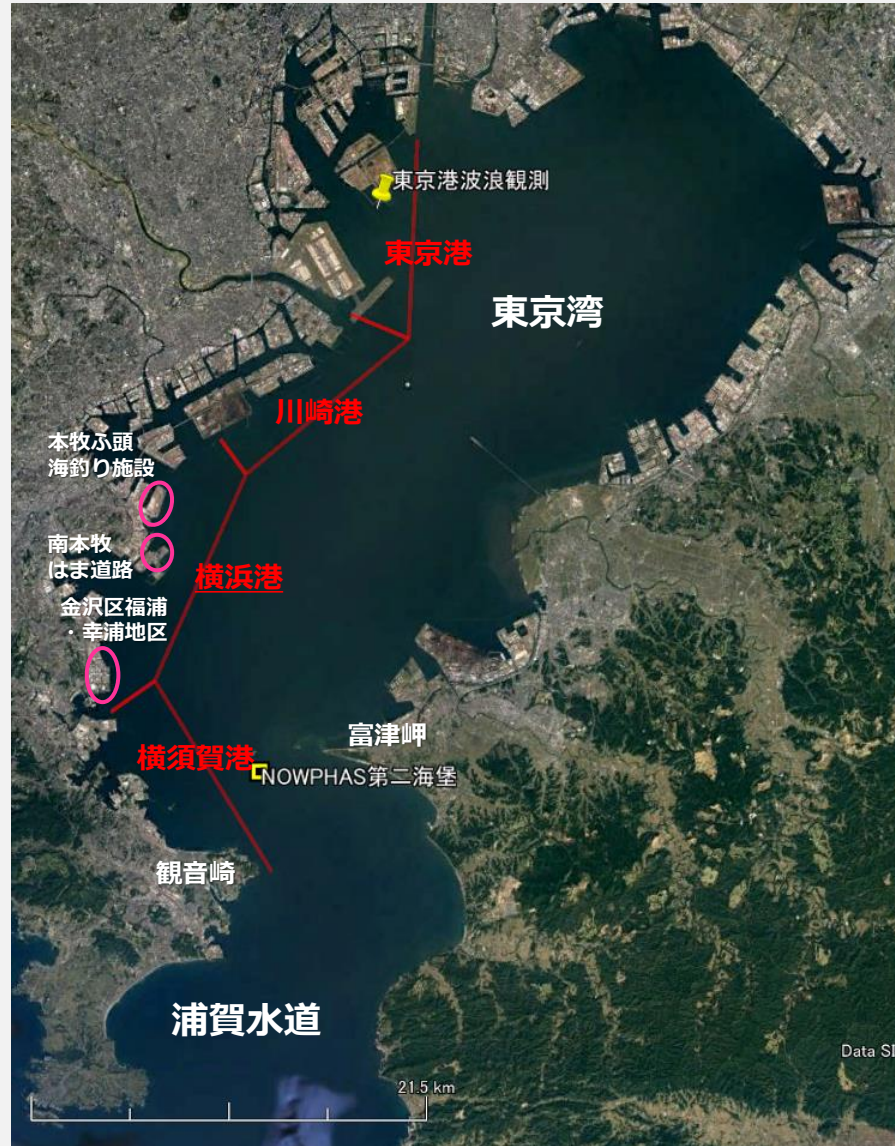
10m超に高波到達

横浜・金沢区、市「想定外」

ボート近くにある緑地内の築山、頂上の草や木が水流で倒れていた。高潮の影響も重なっていたとみられ、台風接近時の近隣の潮位は東京湾の平均海面から約90m高かったという。市港湾局の中野裕也局長は同日開かれた市会国際・経済・港湾委員会での「想定外の波浪だった。東京湾の中でこれほどの波が立つとは思わなかった」と強調。浸水被害が福浦、幸浦両地区のほぼ全域の約3・6平方メートルに及ぶことから、国の災害復旧事業の対象となるよう政府に要請していく考えを示した。

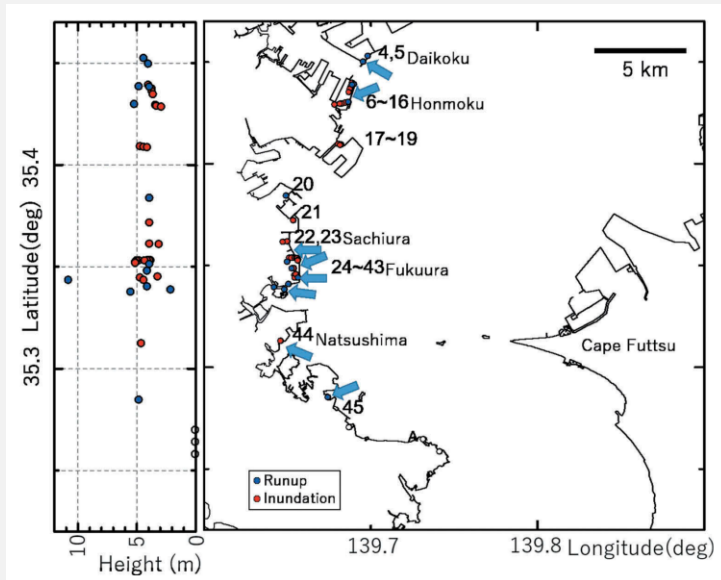
2019年台風15号(Faxai)による沿岸被害

沿岸被害は横浜港（金沢区・南本牧）に集中した



横浜港周辺の沿岸被害および海象条件

横浜港周辺では2方向からの波浪が関与した可能性



被災後の現地調査結果

Suzuki et al (2020)

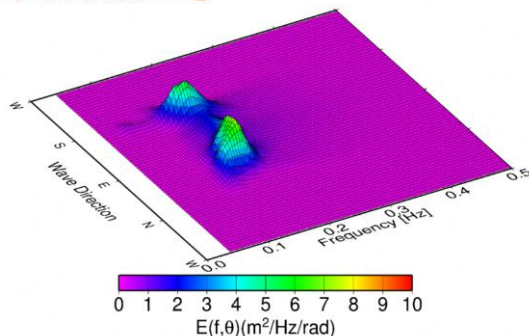
倒壊したフェンスや植生の方向から横浜港周辺での越波方向を推定

ENEからESEの範囲で分布

被害の大きさと越波方向に明確な関連性はない

【南本牧ふ頭沖2】

1st peak: T=6.0s Dir=ENE
2nd peak: T=6.0s Dir=SSE



最大波高時の波浪スペクトル

関東地方整備局

東京湾における高波対策検討委員会

WW3およびSWANによる波浪再現計算

今回の台風1915号による横浜港における波浪は、高波高であることと、2方向波浪であることにより、重複波の発生等これまで経験したことのない波浪特性を有していた

横浜港周辺の海象条件

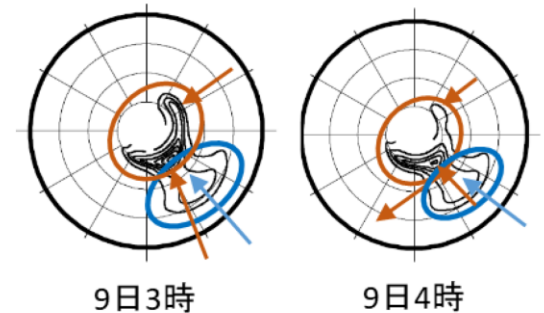
浦賀水道からのうねりが関与した可能性も

気象研究所（2020年3月30日発表）

令和元年房総半島台風による東京湾西部での高波について

気象研究所は、令和元年房総半島台風による東京湾西部での高波の発生要因を明らかにするために、数値シミュレーションによる調査を行いました。この結果、東京湾西部での波の高さ（有義波高）は3m程度、周期は7秒前後と、どちらも東京湾としては大きな値だったことが分かりました。これは、台風の強風による複数の短い周期の波に加え、海岸の構造物に大きな衝撃を与えやすい、浦賀水道から入ってきた長い周期のうねりが重なったためだと考えられます。

(a) 金沢区沖



横浜港・新本牧ふ頭工事



研究の目的

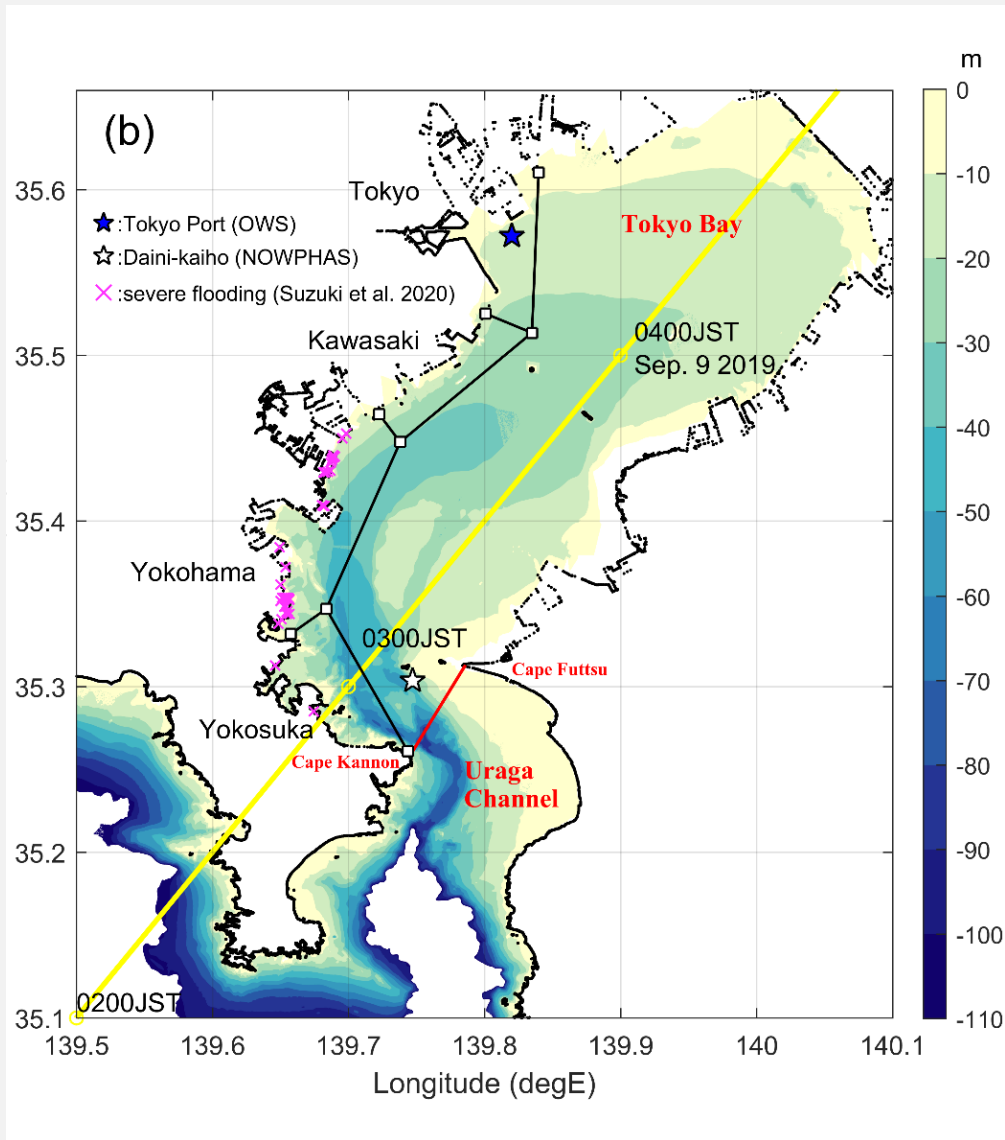
2019年台風15号（Faxai）による東京湾内の沿岸災害
はどのような海象条件下でもたらされたのか

1. 横浜港沖合での2方向波浪の生成メカニズムは？
2. うねりがどのように作用したのか？
3. なぜ沿岸災害は横浜港に局在化したのか？

- 第三世代波浪モデルによる波浪再現計算と数値実験
- Ray方程式による波束追跡実験
- 海上風・波浪現地観測データ（NOWPHAS, 東京港観測所）

波浪スペクトルモデルによる過去再現計算と数値実験

第三世代波浪モデルWAVEWATCH-III (ST3 + DIA)



Model domain	東京湾
空間解像度	9 sec (250 m)
スペクトル解像度	35 x 72 grids
海上風外力	JMA/LFM
境界条件	Nest2 (10 min)
海底地形	M7001

1. 過去再現計算

海上風外力・境界条件で駆動

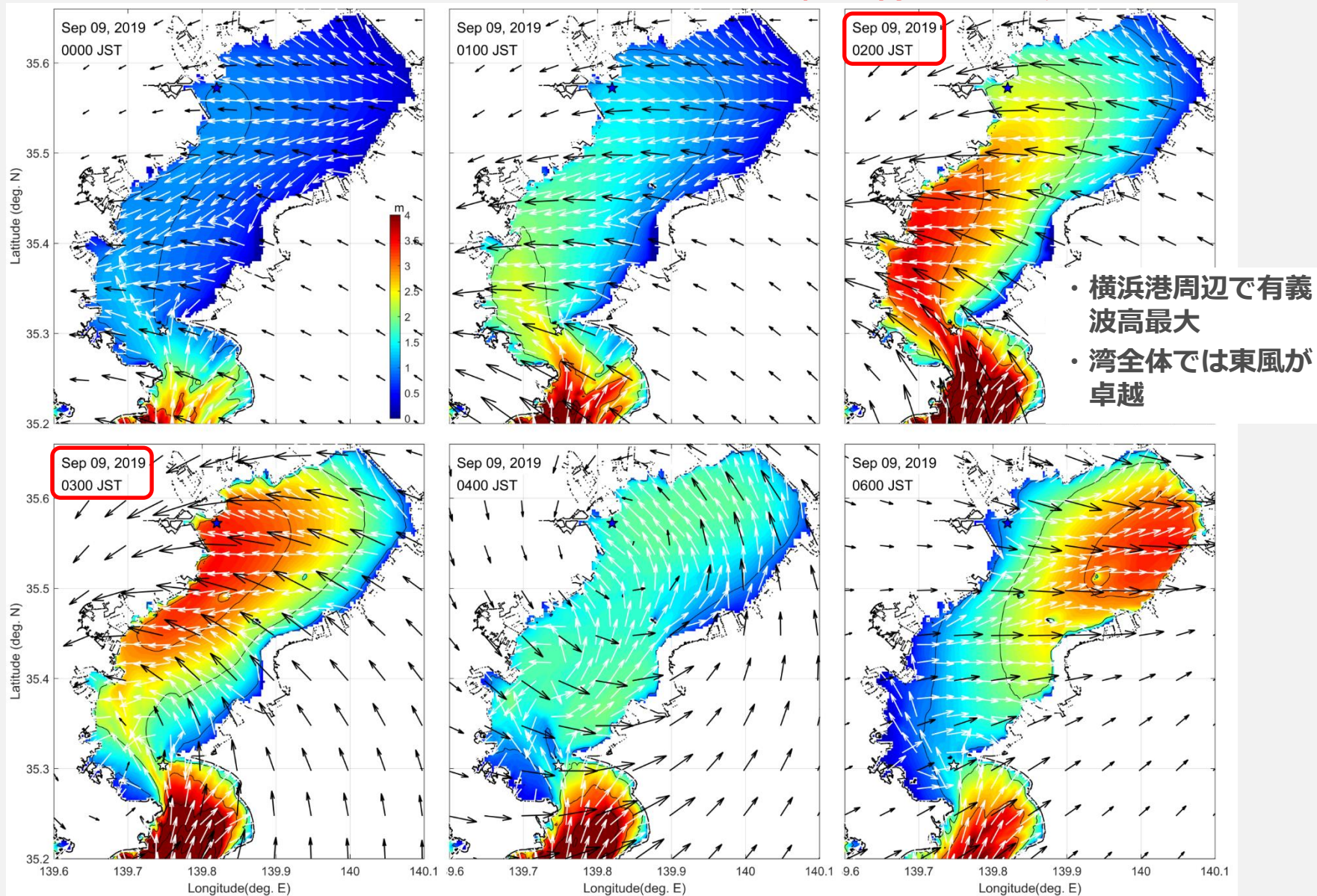
2. 数値実験

WND実験：海上風外力のみで駆動

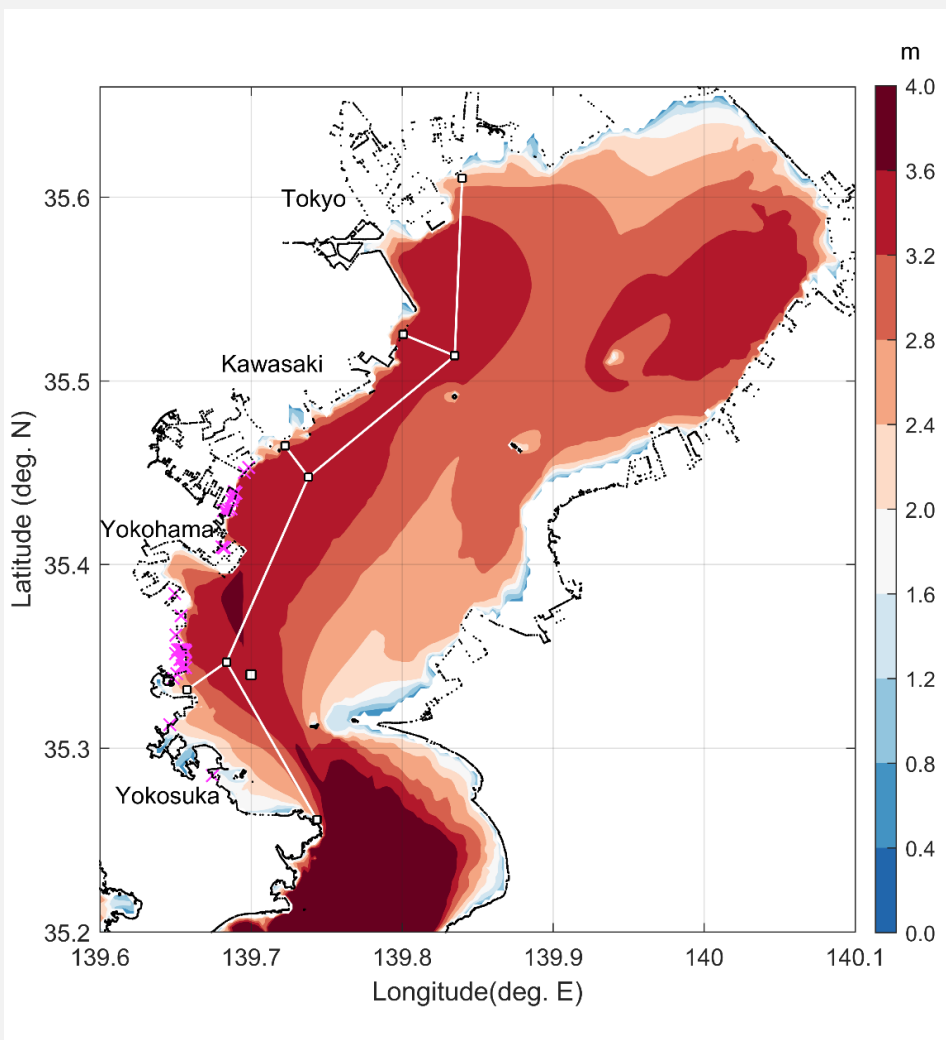
BND実験：境界条件のみで駆動

過去再現計算:海上風・波浪の時空間変動

最大波高のピーク時刻



台風Faxai通過に伴う最大有義波高 $H_s^{\max}$



- 横浜港周辺では湾内での最高値 (~3.5 m)
- 湾内西岸における南北の空間分布には10%程度の差しかない
- 湾口および湾奥の観測値もこの結果を支持
- 顕著な沿岸被害が報告されていない千葉港周辺でも3m以上

$H_s^{\max}$ と被災海域との関連性は不明瞭

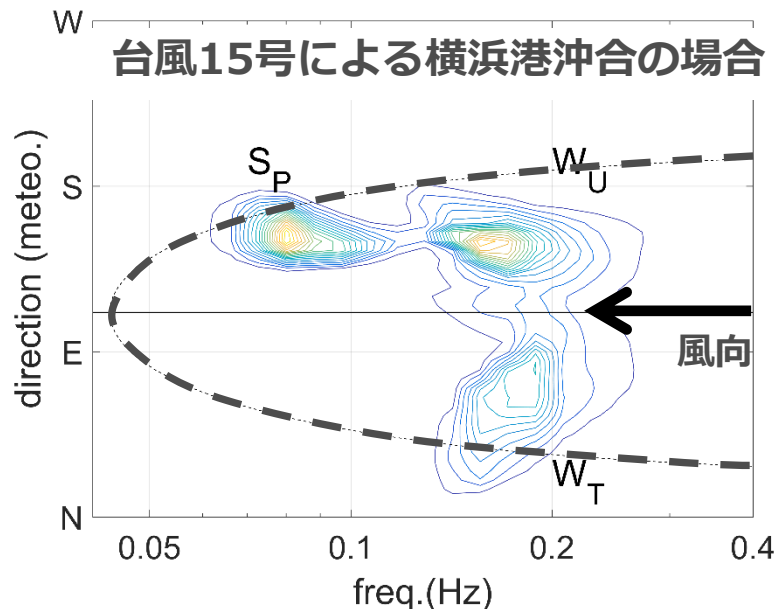
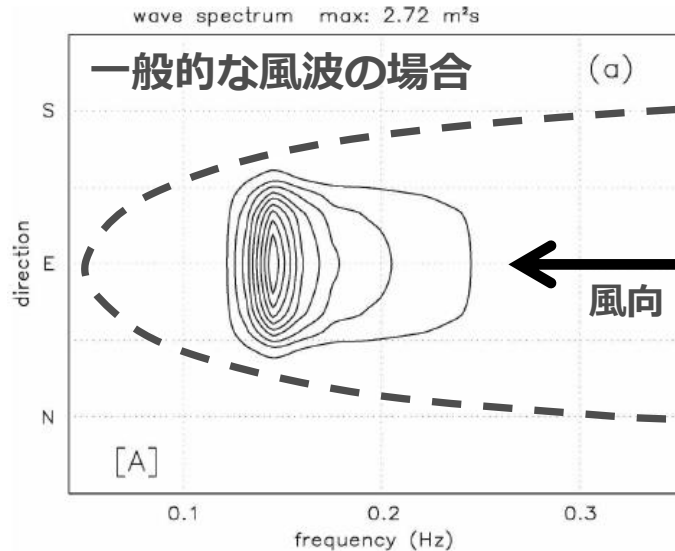
→ “高波”では沿岸被害を説明できない

台風Faxai通過に伴う横浜港沖のスペクトル

Donelan et al (1985)による風波とうねりのスペクトル分離指標

$$U_{10} \cos (\theta - \phi) / c = \alpha$$

風波 : $\alpha > 0.83$ うねり : $\alpha < 0.83$

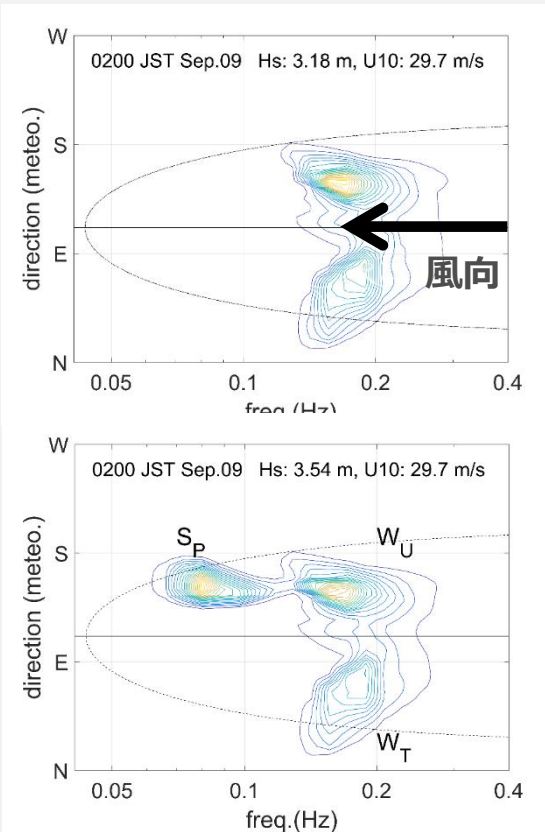
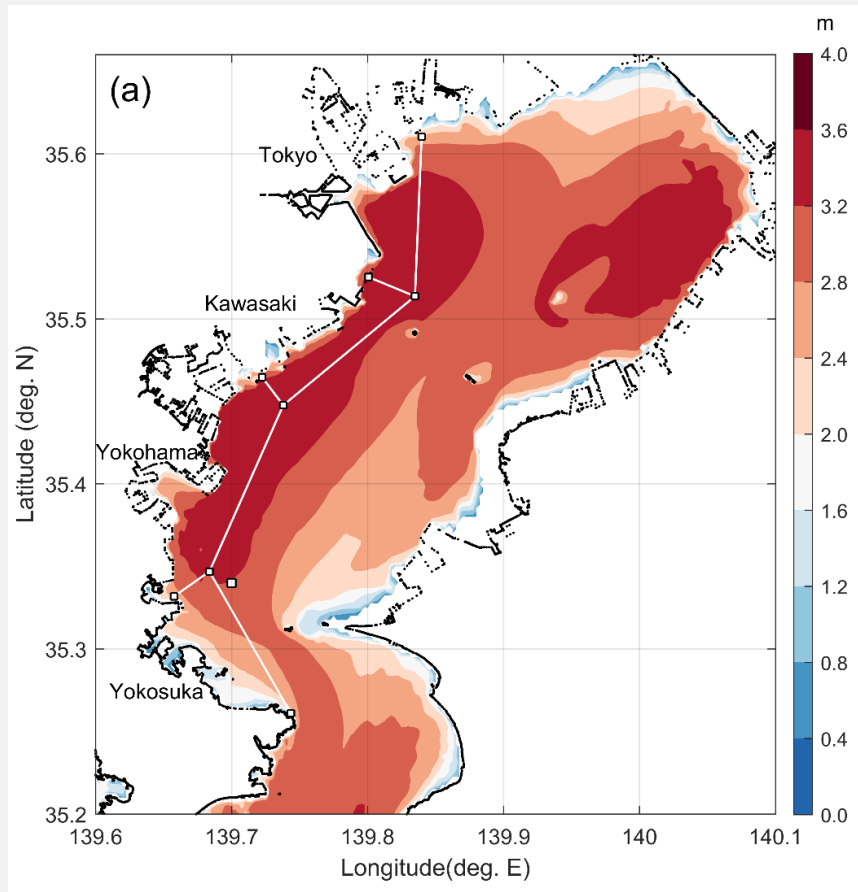


特異的な波浪場が形成

- 横浜港周辺海域で卓越した東風に対応するスペクトル成分が存在しない
- 波浪スペクトルは3成分で構成されそれらすべてが風波領域内に存在

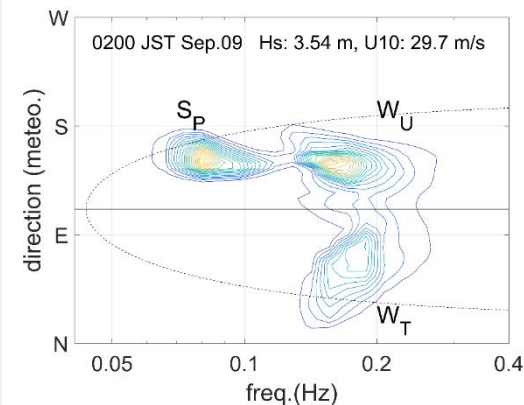
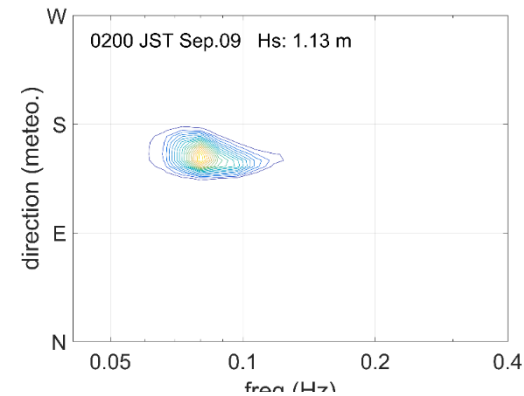
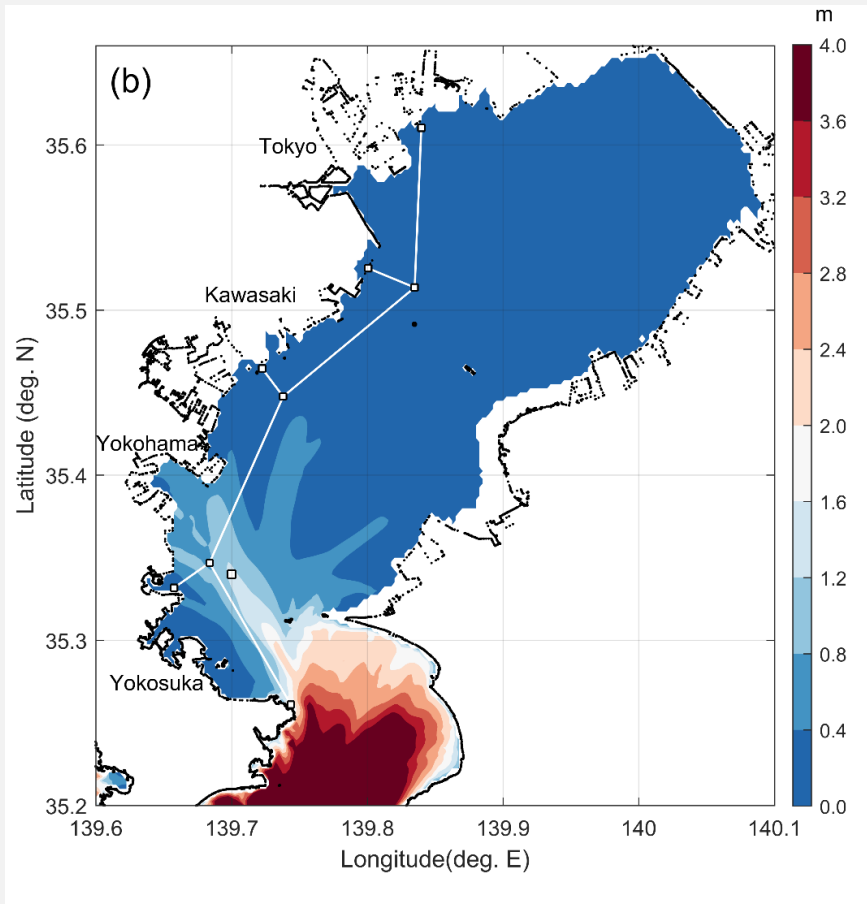
被害をもたらした犯人がこの中にいる

数値実験1: 海上風外力のみで駆動した場合



- W_U , W_T は湾内で生成された風波
- 東京湾内の最大波高は風波による寄与が大きい

数値実験2: 境界条件のみで駆動した場合



■ S_P は湾外からのうねり

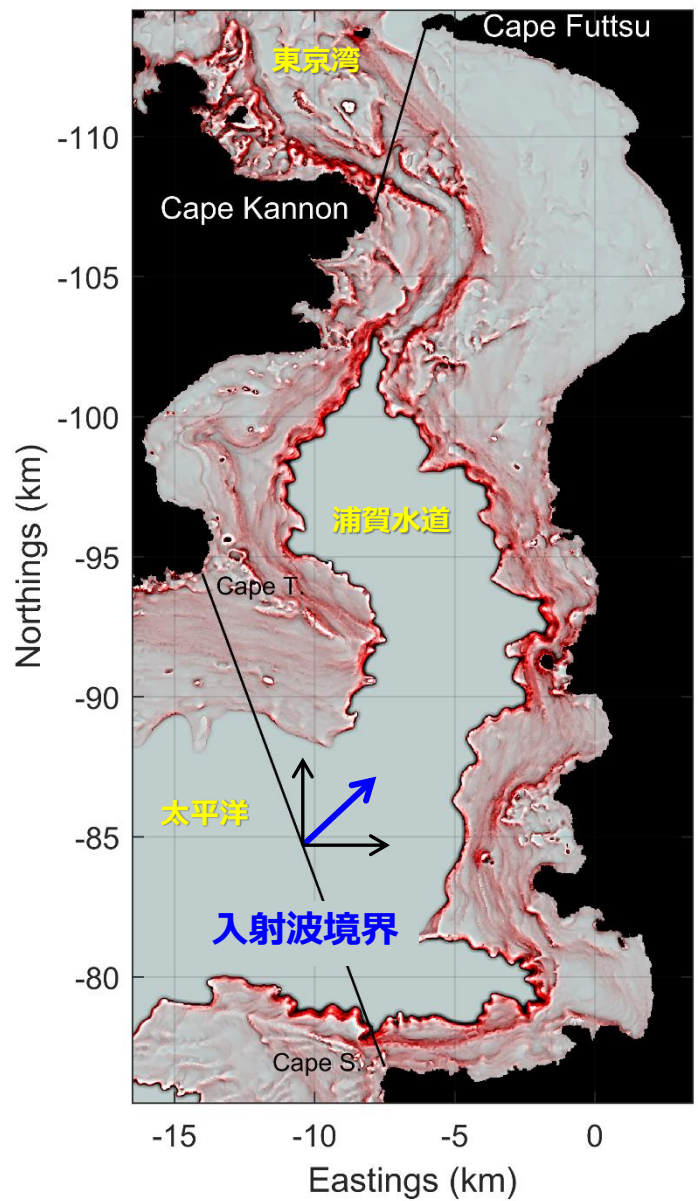
■ “純粋な”うねり成分波高は非常に小さく影響は限定的

しかしながら本研究の結論：

このうねり性波浪が横浜港での沿岸被害に関連した

東京湾内へのうねりの伝搬経路は？

東京海底谷の赤色立体地図



東京海底谷によるうねりの屈折

Ray equation

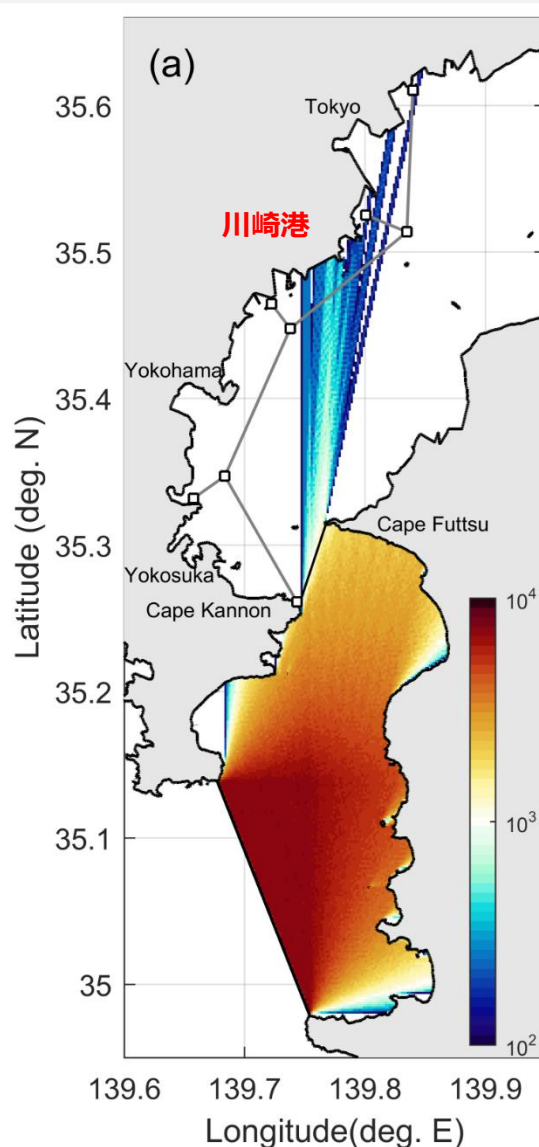
$$\omega = (gk \tanh kH)^{1/2} \quad \frac{d\mathbf{x}}{dt} = \frac{\partial \omega}{\partial \mathbf{k}} \quad \frac{d\mathbf{k}}{dt} = -\frac{\partial \omega}{\partial \mathbf{x}}$$

→ 任意水深・球面座標系に展開

Wave ray実験

- 入射波周期：8-20秒，入射波方向：E-N（等配分）
- 海底地形：水路協会M7001（WW3計算と同様）
- 到達した海岸線でカウント（反射考慮しない）
- 屈折なし実験（海岸線の影響のみ）
- 屈折あり実験（東京海底谷の影響）

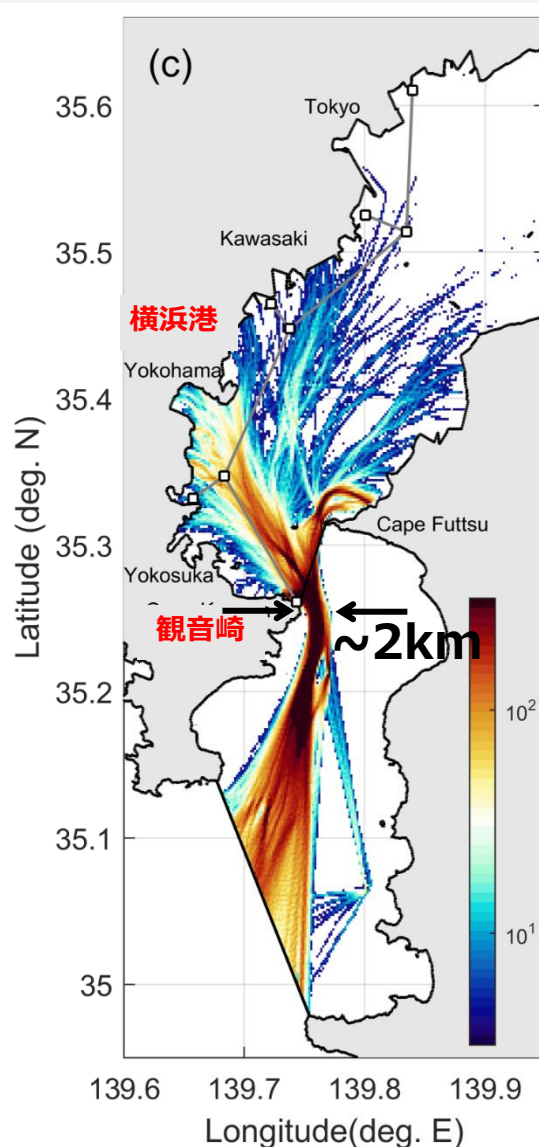
東京湾内へのうねりの伝搬経路



屈折なし実験（海底地形なし）

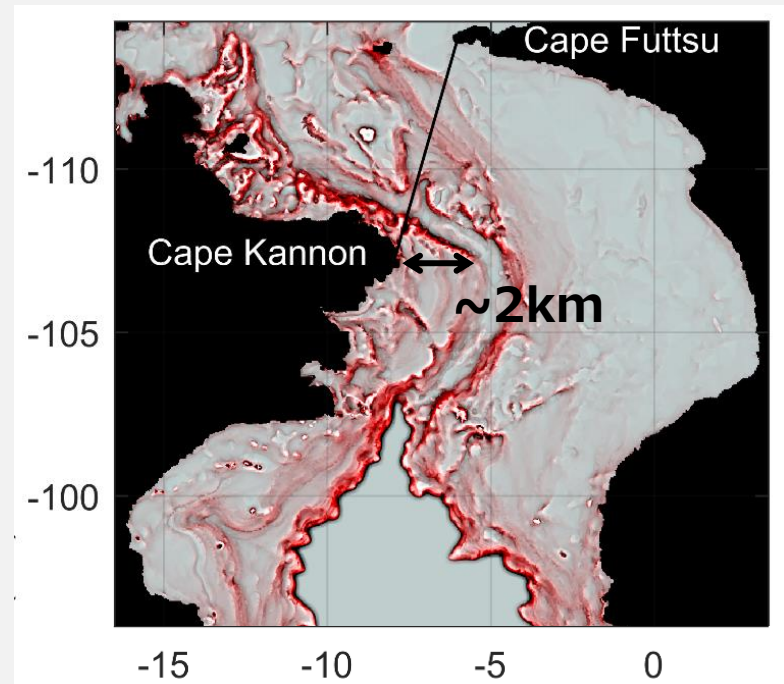
- 南寄りの成分波が川崎港に到達
- 湾内へ伝搬する波束密度は1%程度

東京湾内へのうねりの伝搬経路



屈折あり実験（海底地形あり）

- 浦賀水道内に波束の収束帯が確認
- 湾内へ伝搬する波束
西岸へは横浜港周辺に到達する
全ての波束が観音崎沖合を経由する



沿岸被害はなぜ横浜港に集中したのか？

- 日本の防波堤設計には最大波高が用いられる
- 波浪モデルによる最大波高分布は湾内西岸で概ね一様
→ 被害海域との対応関係は不明瞭

湾内の海岸構造物の耐波設計に関して極端な差異がないと仮定

→ **横浜港の沿岸災害を高波という外力パラメータで説明するには矛盾**

**横浜港周辺のみに特化した波浪パラメータは？
沿岸被害≠高波被害**

台風Faxai通過に伴う最大波パワーとスペクトル

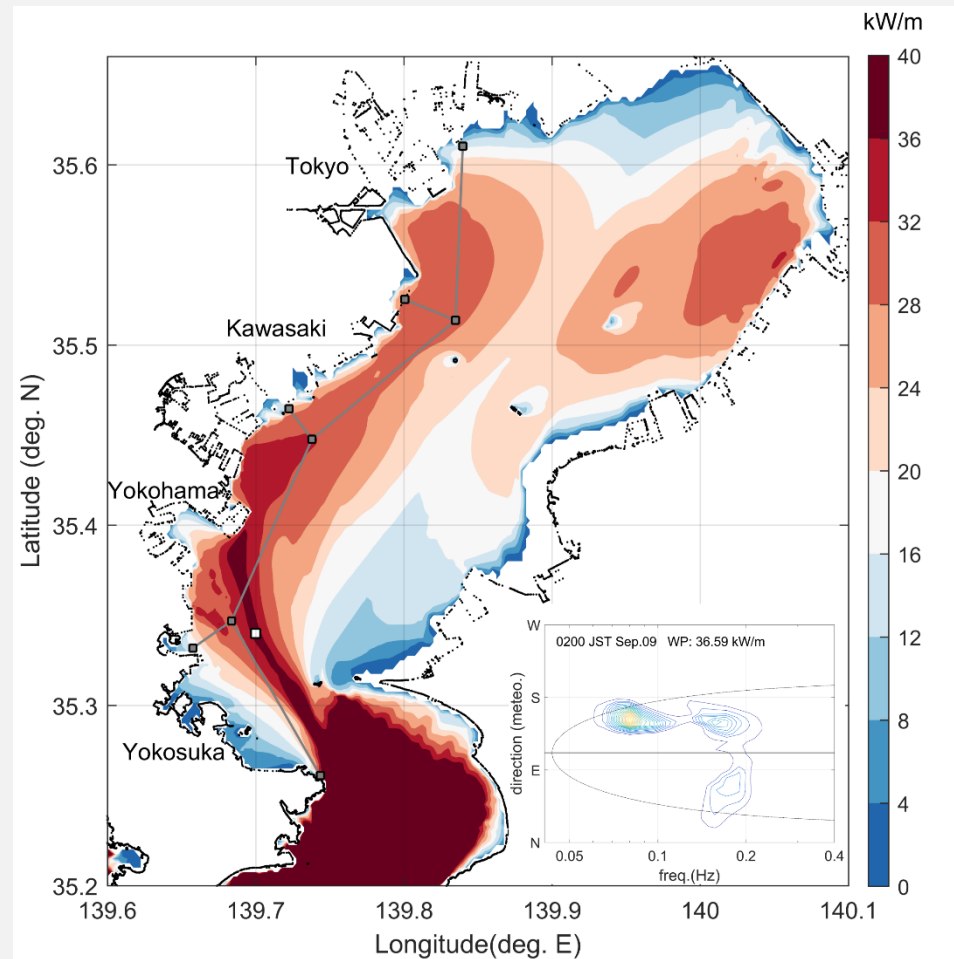
波パワー（仕事率）[Wm⁻¹]

$$P = \rho_w g \iint c_g(\sigma) F(\sigma, \theta) d\sigma d\theta$$

波浪統計量を用いて評価可能

$$P = \frac{\rho_w g^2}{64\pi} \frac{m_{-1}}{m_0} H_s^2$$

- ・ 最大波パワーは東京湾西岸で40%の差
- ・ しかも沿岸被害が顕著であった横浜港・金沢区本牧周辺では湾内の最大値

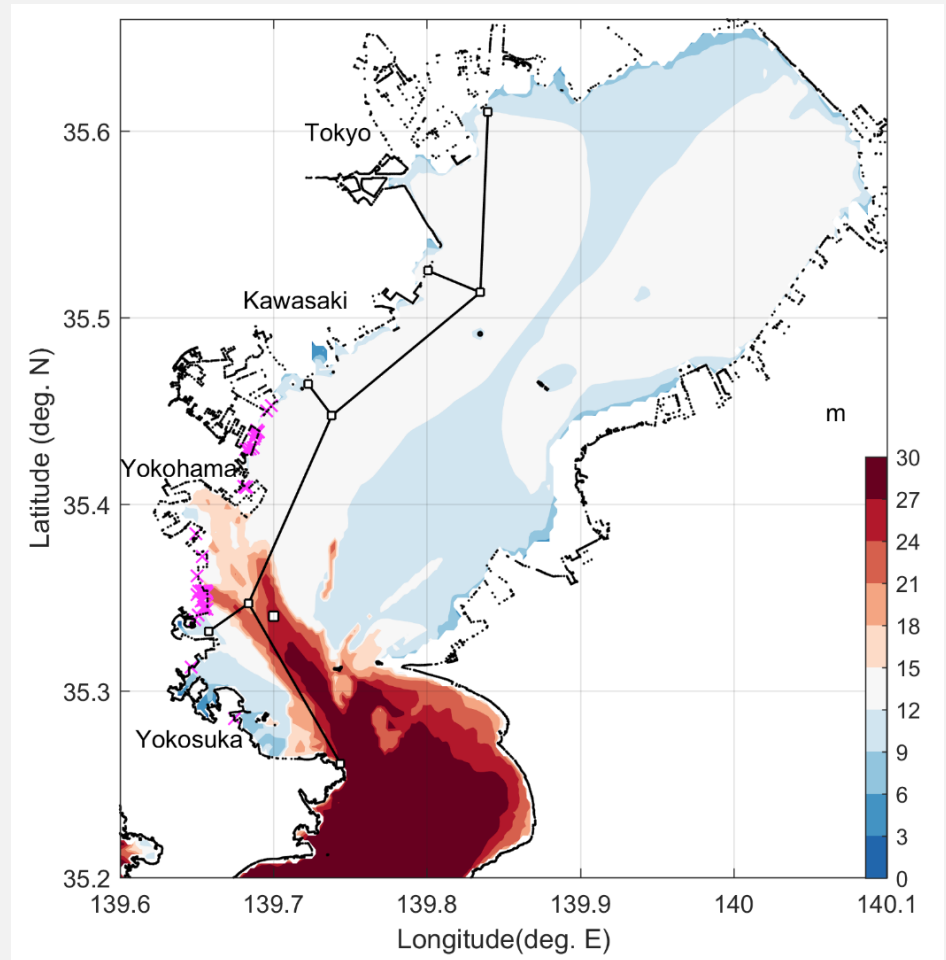


波浪統計量 $\sqrt{H_s L_p}$ で見た場合

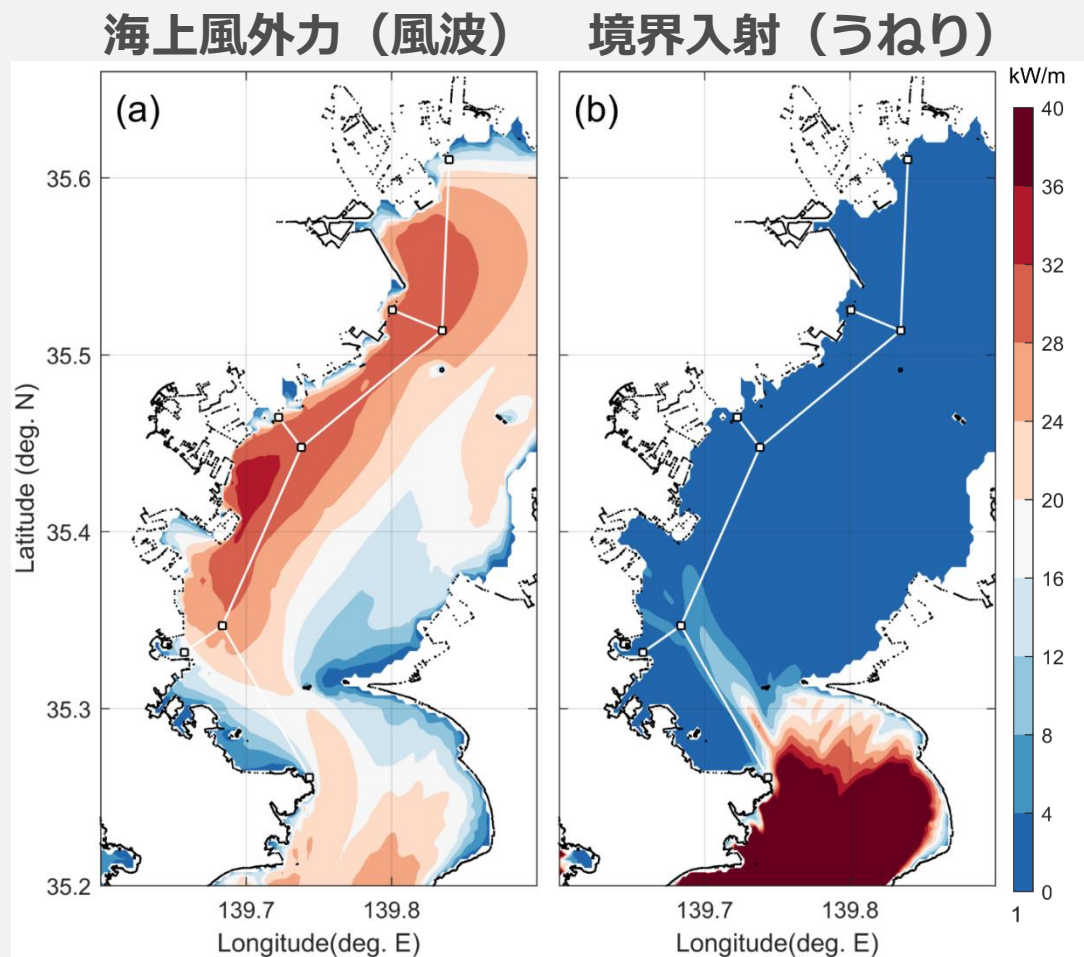
- 横浜港周辺は東京湾内でも特異な海域となっていたことが明瞭化
- 湾外から侵入したうねりが発達しながら横浜港まで到達した (Tamuraら, 2020)

波パワーや波高×波長で横浜港の特異性が明瞭化できる

⇒ 遡上高さに関連する物理量



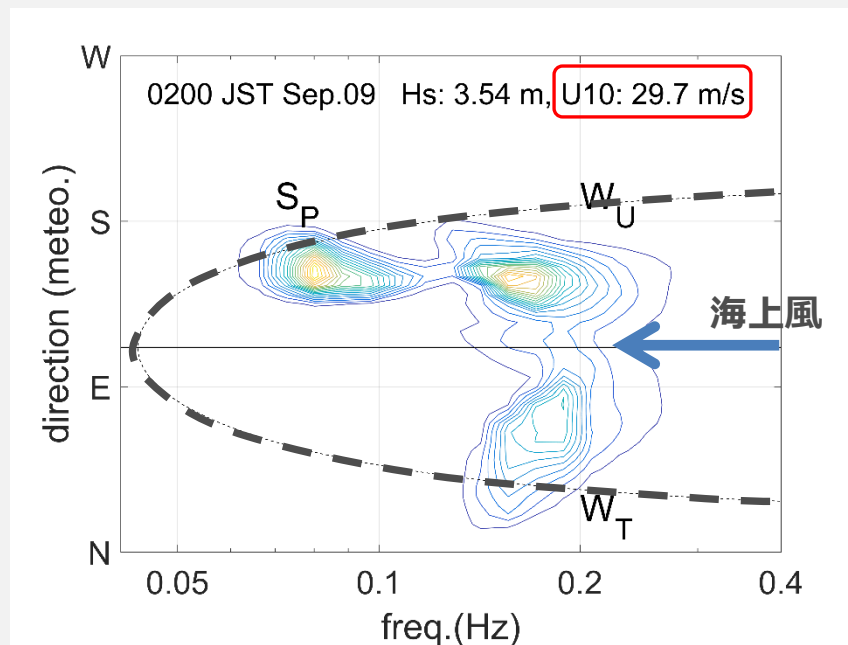
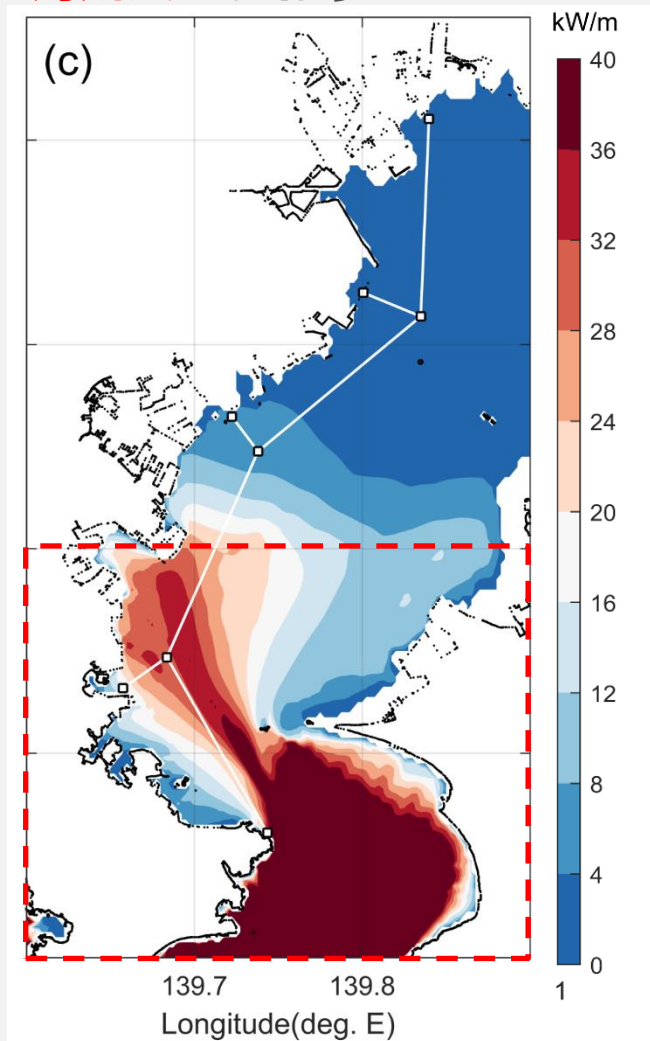
各数値実験における最大波パワー



各数値実験では横浜港周辺で波パワーのピークは現れない
「2方向波」 および「うねり」 影響からは不明瞭

各数値実験における最大波パワー

局所風+うねり

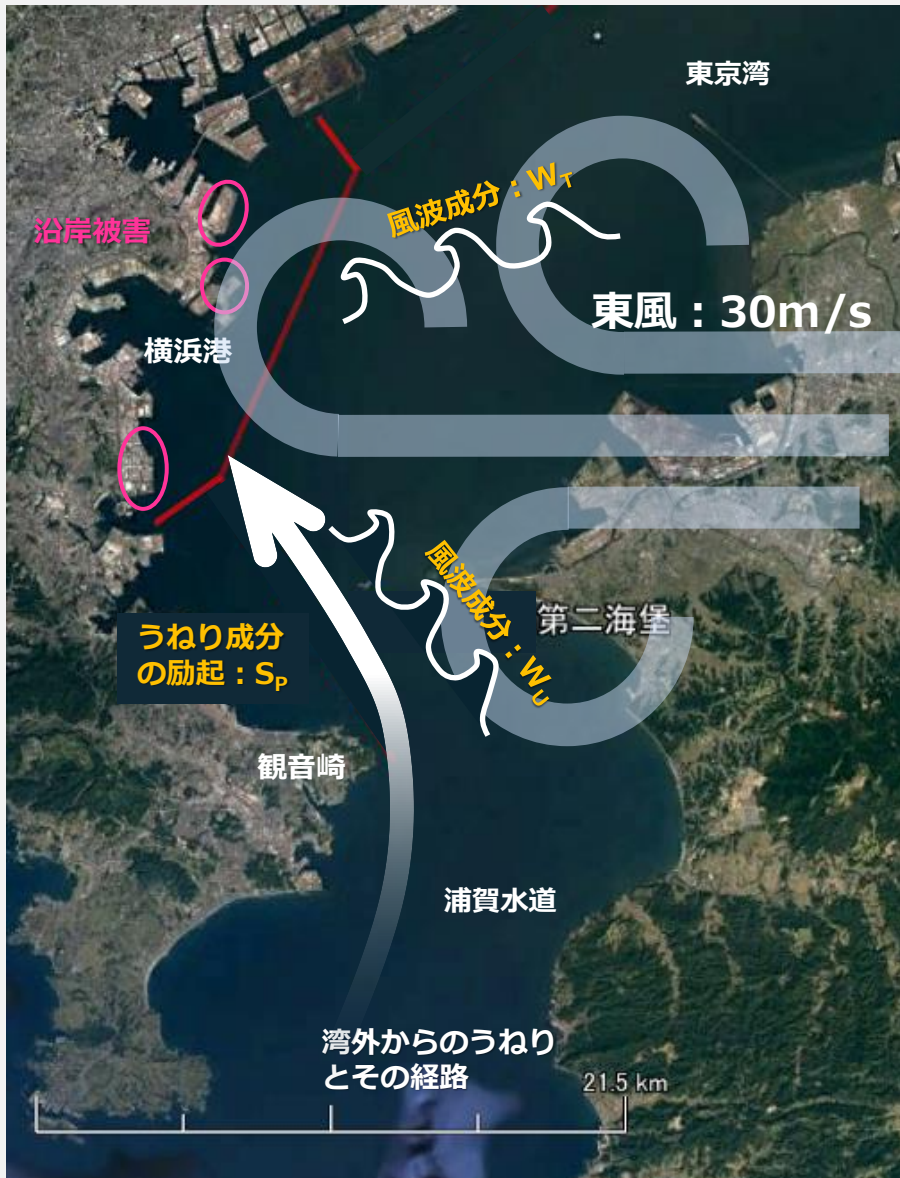


$$U_{10} \cos (\theta - \phi) / c = 0.83$$

$$c_p^{S_P} \simeq 15 \text{ m/s} \rightarrow U_{10} / c_p^{S_P} \simeq 2$$

S_P は純粹なうねりではなく
“局所風に励起された”うねり性波浪

まとめ



横浜港沖合での波浪スペクトル

