

サイクロン シドル(SIDR)による高潮の 数値シミュレーションと被災の実態

安田誠宏

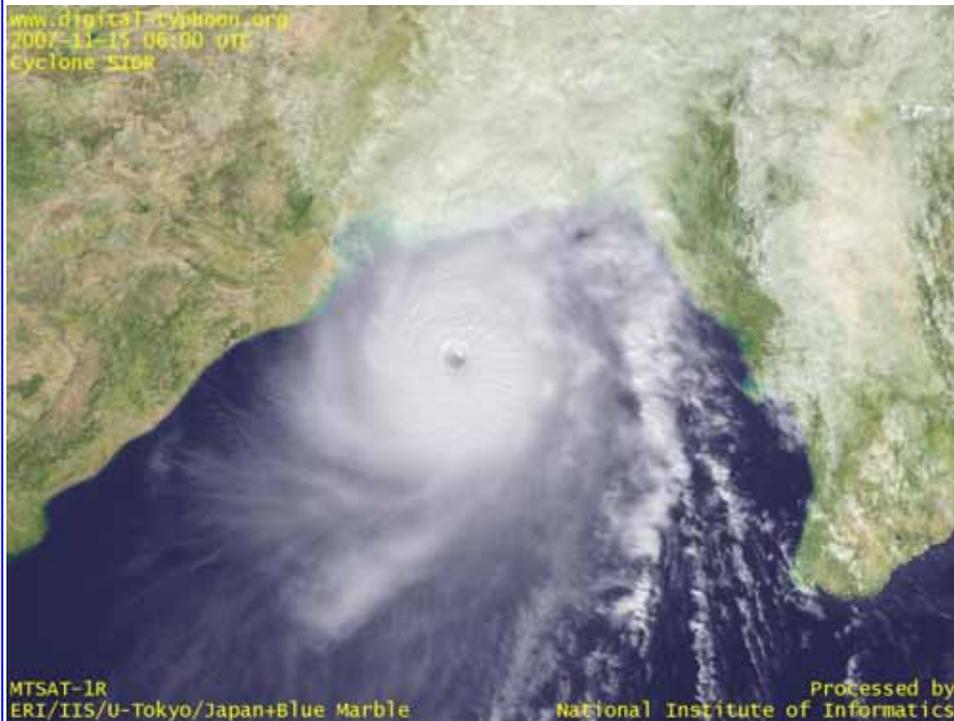
京都大学防災研究所

発表内容

- ✦サイクロン シドル(Sidr)の経路
- ✦熱帯低気圧モデルを用いた高潮シミュレーション(茨城大, 信岡先生)
- ✦GFS-WRF-SWAN&SuWATシステムによるシミュレーション
 - GFS-SWANによる波浪シミュレーション
 - GFS-WRF-SuWATによる高潮シミュレーション
- ✦主要な結論とリアルタイム高潮予測



サイクロン シドル(Sidr)



発生期間:	2007年11月11日~11月16日
最大風速: (1分間平均)	250 km/h (155 mph)
最低気圧:	944 hPa
被害総額:	450 million (USD)
死傷者数:	≥ 4,000人
被害地域:	Bangladesh and West Bengal, India

サイクロン シドル(Sidr)の経路



Date	Time (GMT)	Lat (deg)	Lon (deg)	Wind (kt)	Cat.
11/11	6	10.00	92.30	35	TS
11/11	18	10.40	91.40	45	TS
11/12	6	10.80	90.40	55	TS
11/12	18	11.60	90.00	105	3
11/13	6	12.50	89.80	115	4
11/13	18	13.70	89.50	115	4
11/14	0	14.30	89.60	115	4
11/14	6	15.00	89.40	120	4
11/14	12	15.70	89.30	130	4
11/14	18	16.60	89.30	130	4
11/15	0	17.80	89.20	130	4
11/15	6	19.30	89.30	135	4
11/15	12	20.90	89.50	130	4
11/15	18	22.80	90.30	105	3
11/16	0	25.00	91.90	60	TS

サイクロン ボーラ(Bhola) in 1970



発生期間:	1970年11月7日～11月13日
最大風速: (1分間平均)	205 km/h (130 mph)
最低気圧:	966 hPa
被害総額:	8,640万USD, 2007年の貨幣価値換算で46,000万USD
死傷者数:	30万~50万人が死亡 (史上最悪のサイクロン被害)
被害地域:	インド、東パキスタン

サイクロン シドル(Sidr)の軌道と上陸地点

軌道と中心気圧

- Advisory Report of Indian Metrological Department
Tropical cyclone 'Sidr' advisory
- Joint Typhoon Warning Center
Tropical Cyclone Warning WTIO31

上陸地点と時間

- OCHA :

Cyclone SIDR Bangladesh Situation Report No. 2 17 November 2007

18:30(バンングラデシュ時刻) 沖の島を通過

20:30(バンングラデシュ時刻) 上陸 [UTC 14:30]

‘上陸地点 : Hiron Point, サンダーバンやDublar Char島付近

風と気圧場の計算1

Myersの熱帯低気圧モデル

$$P(r) = P_c + \Delta p \cdot \exp\left(-\frac{r_0}{r}\right)$$

台風半径 r_0 : 加藤 (2005)の台風を用いた経験式

$$r_0 = \begin{cases} 0.77 * P_c - 651 (P_c < 950hPa) \\ 1.63 * P_c - 1471 (P_c > 950hPa) \end{cases}$$

→高潮の感度分析を行い、上の式で算出される値を
0.8倍して使用

加藤史訓(2005): 高潮危険度評価に関する研究, 国総研資料, 第275号, p.10.
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0275.htm>

風と気圧場の計算2

風の計算: Super Gradient Wind (藤井・光田, 1986) を利用

$$\frac{U_{gr}^2}{r_t} + fU_{gr} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} \quad \frac{1}{r_t} = \frac{1}{r} \left(1 + \frac{C}{U_{gr}} \sin \alpha \right)$$

$$U_{10} = GU_{gr}$$

$$G(x) = G(\infty) + \{G(x_p) - G(\infty)\} \left(\frac{x}{x_p} \right)^{k-1} \cdot \exp \left[\left(1 - \frac{1}{k} \right) \left\{ 1 - \left(\frac{x}{x_p} \right)^k \right\} \right]$$

U_{gr} : FFW (Friction-free wind)

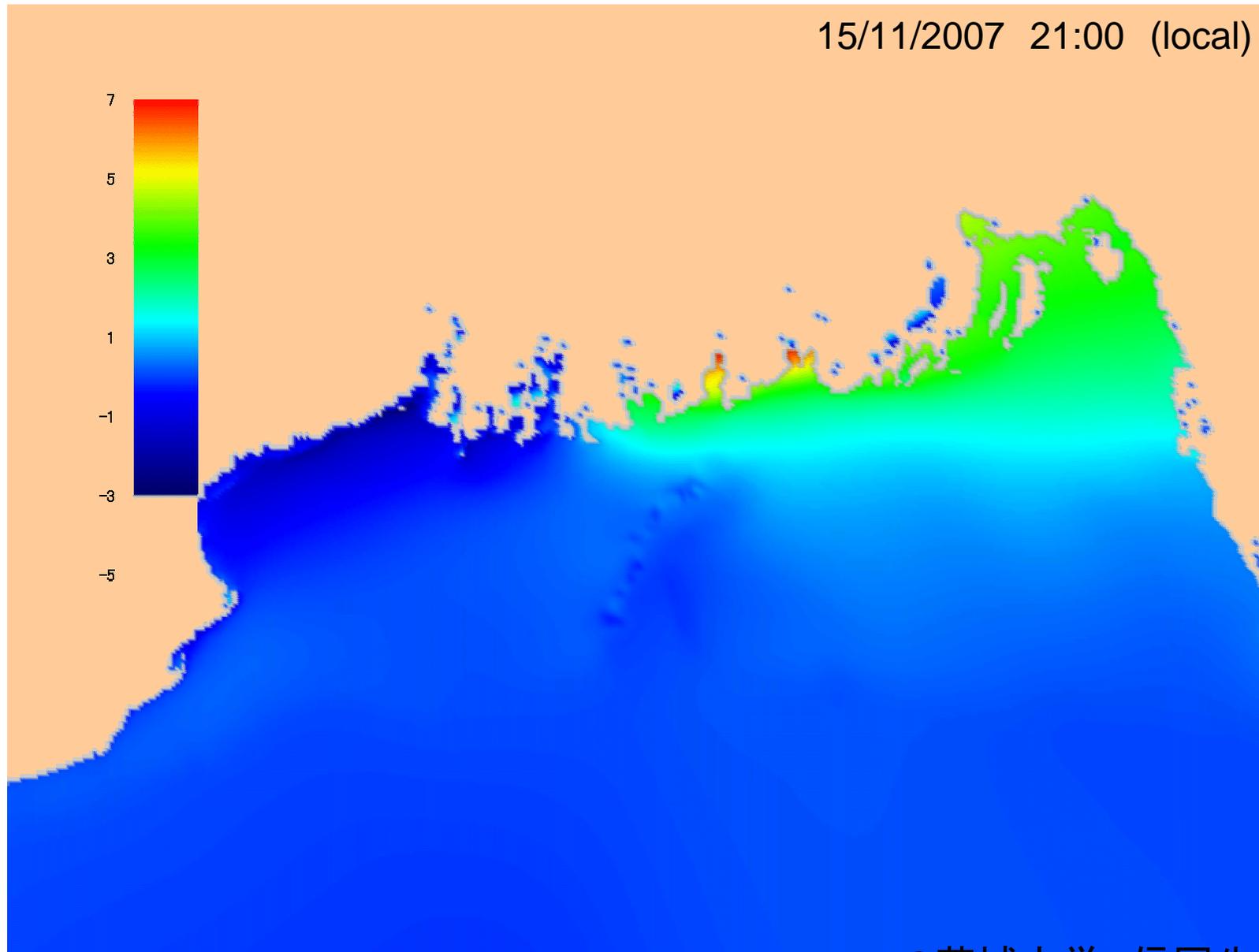
$$G(\infty) = 2/3 \sim 0.6667$$

$$k = 2.5$$

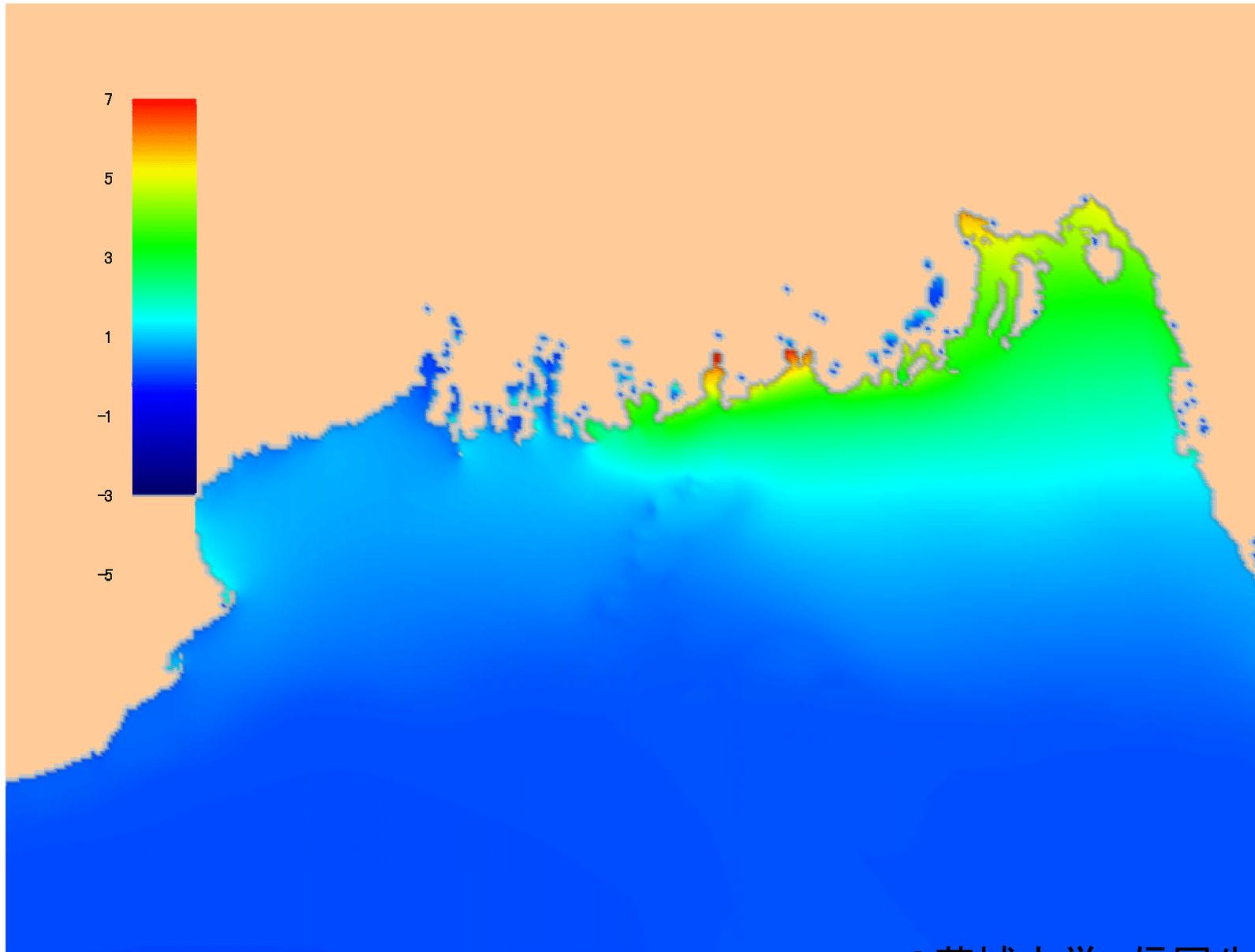
$$x_p = 0.5$$

藤井・光田(1986): 台風の高率モデルの作成とそれによる強風シミュレーション,
京都大学防災研究所年報, No.29, B-1, No.29, pp.229-239.

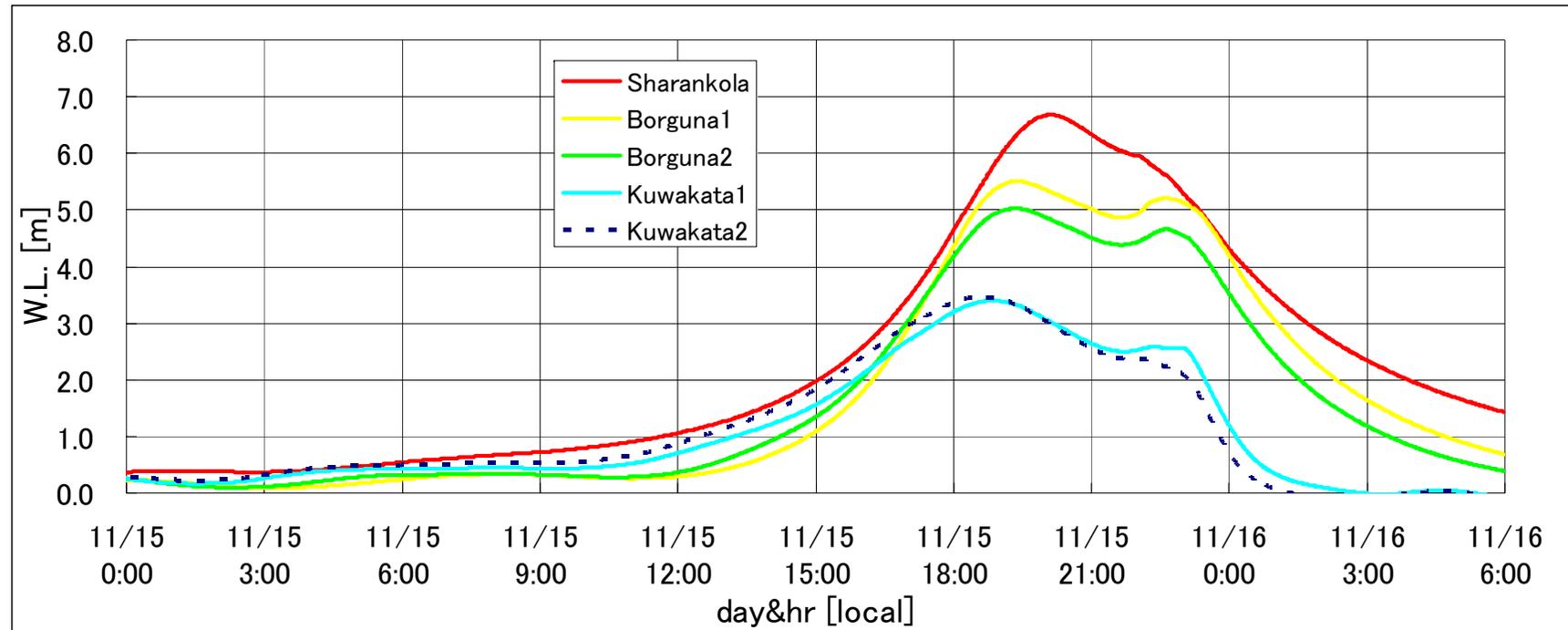
SIDRによる高潮のアニメーション



最大高潮偏差の分布



高潮偏差の時間変化

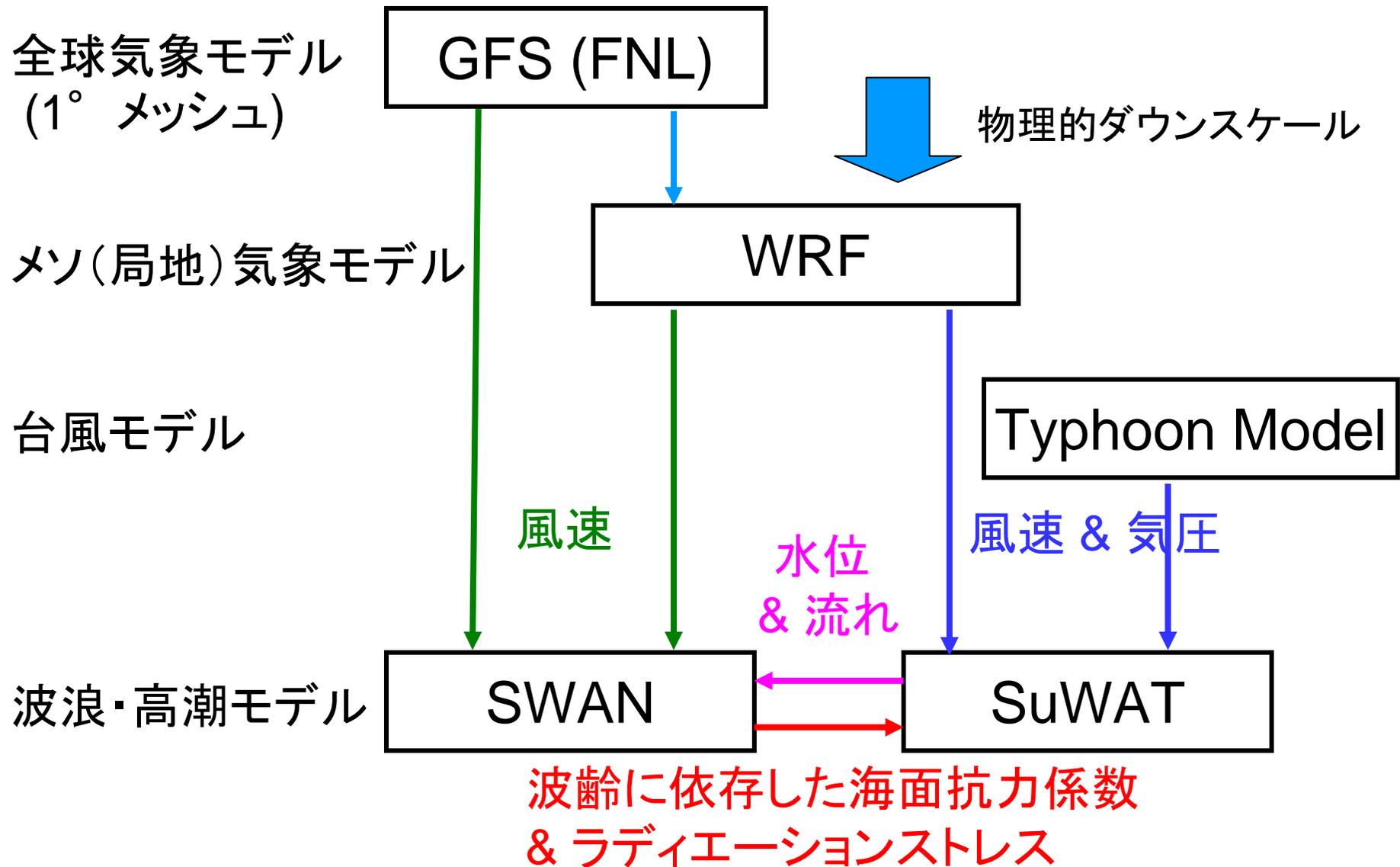


Sarankhola: 6.5m

Borguna: 5.0m

Kuwakata: 3.5m

GFS-WRF-SWAN&SuWAT システム

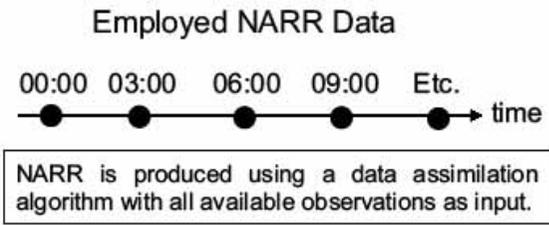


再解析気象データ

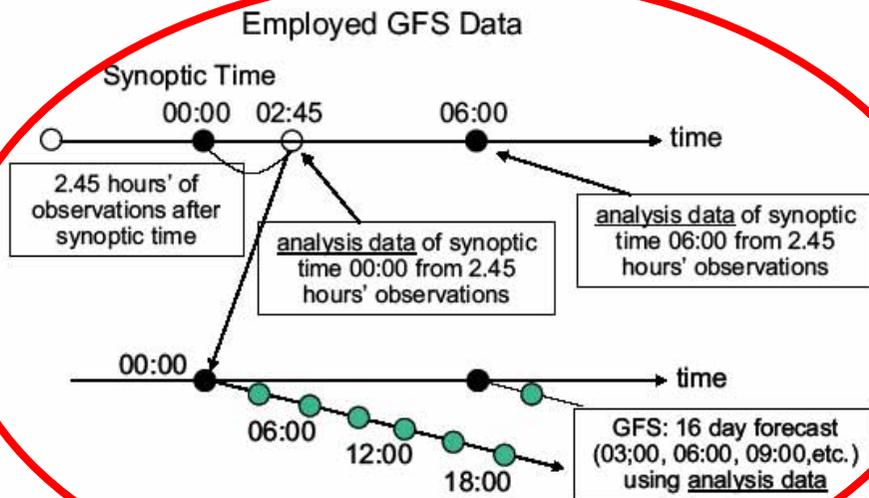
(a) NARR (North American Regional Reanalysis)

(b) GFS (Global Forecast System) by NCEP

(c) FNL (Final Analysis) by NCEP

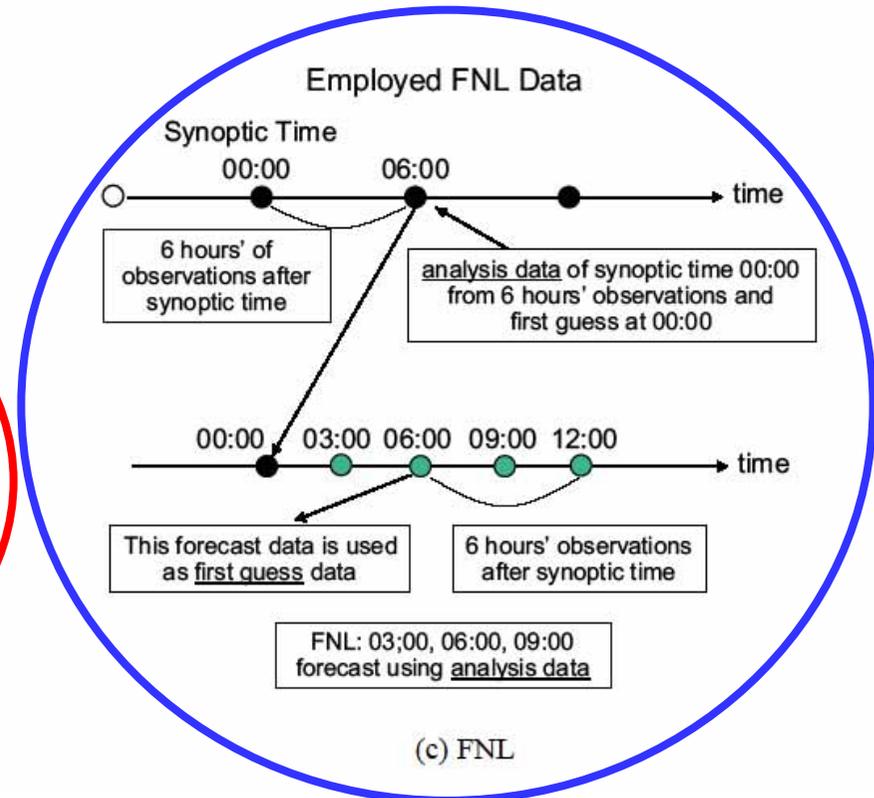


(a) NARR



(b) GFS

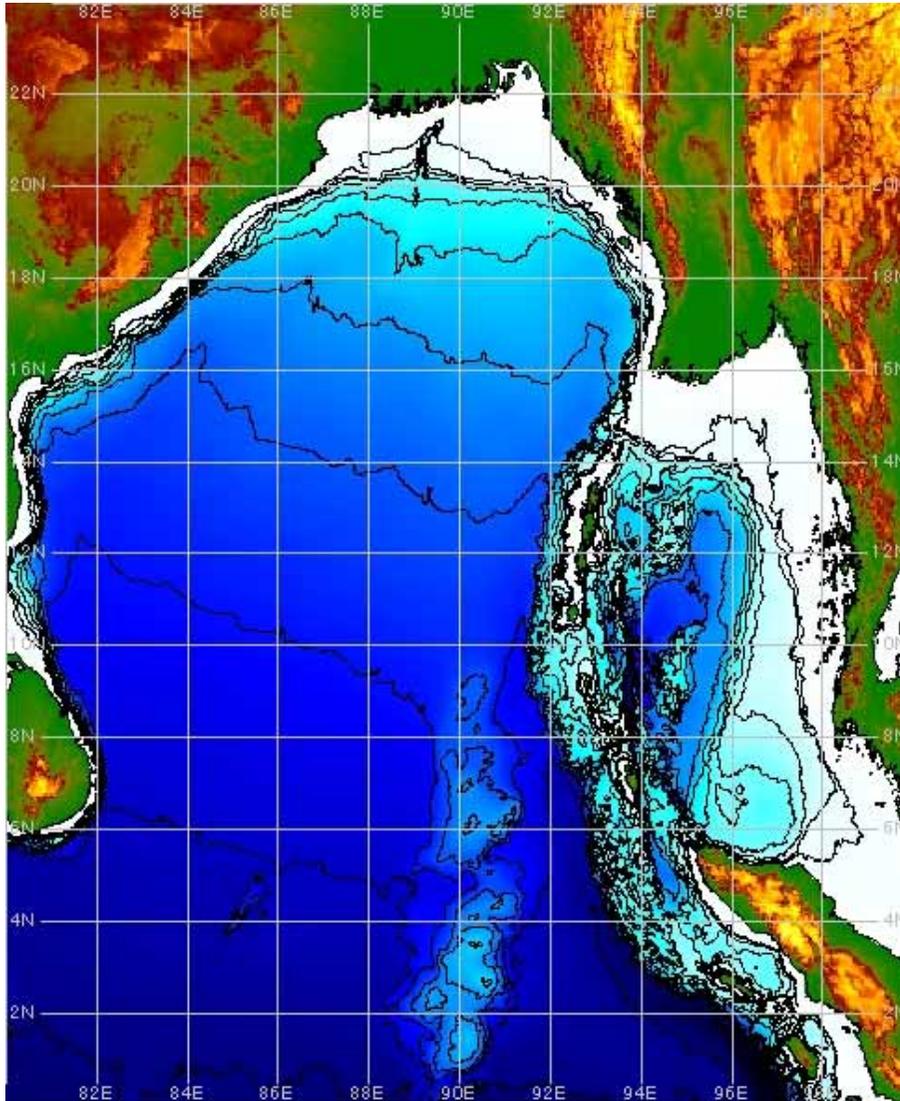
予報値



(c) FNL

再解析値

解析領域および解析条件



➤ SWAN 40.51による波浪のシミュレーション

➤ 入力条件

- FNL風速(6時間毎)

➤ 解析条件

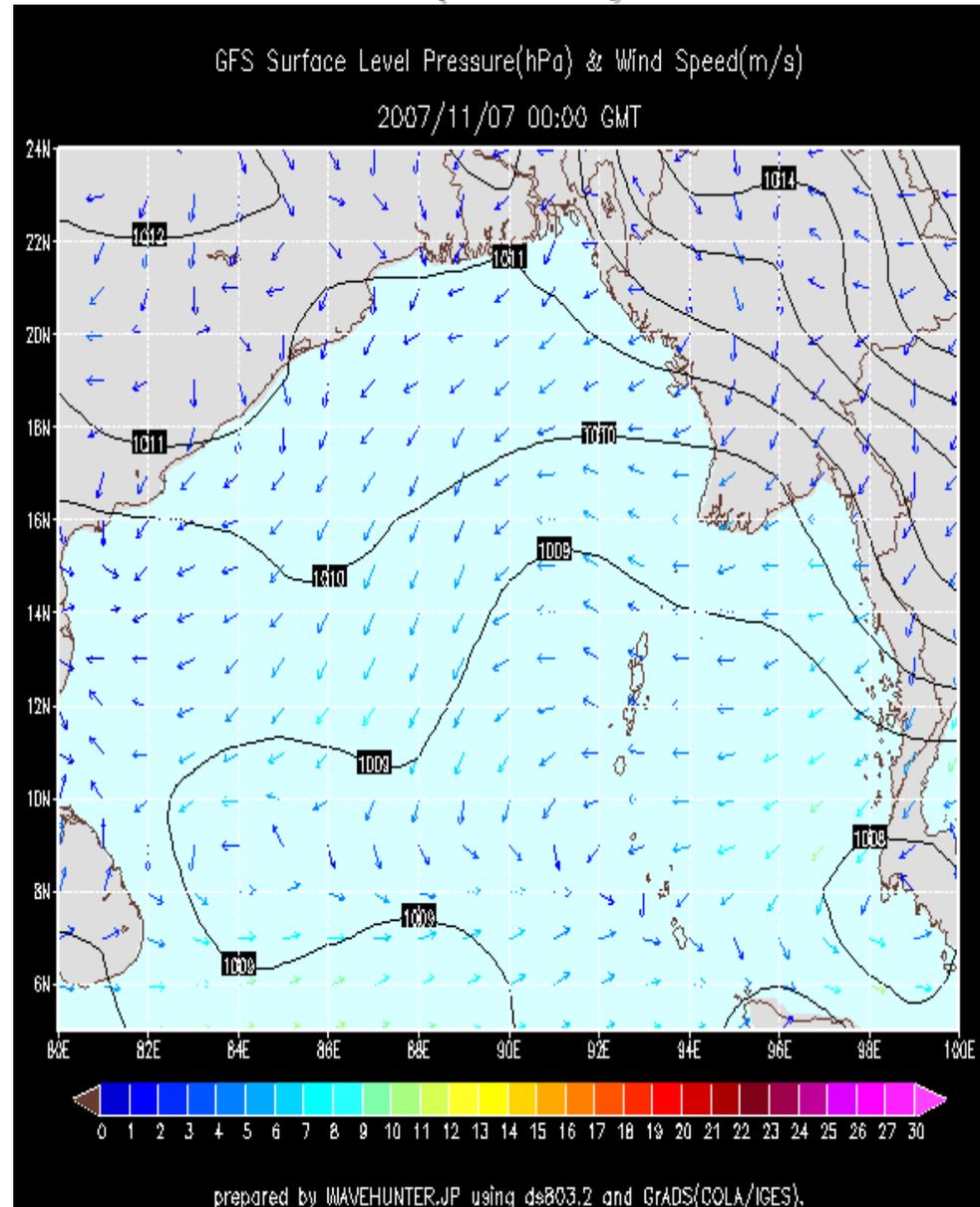
- 0 ~ 24N, 80 ~ 100E

- $\Delta x = \Delta y = 2$ minutes (BODC)

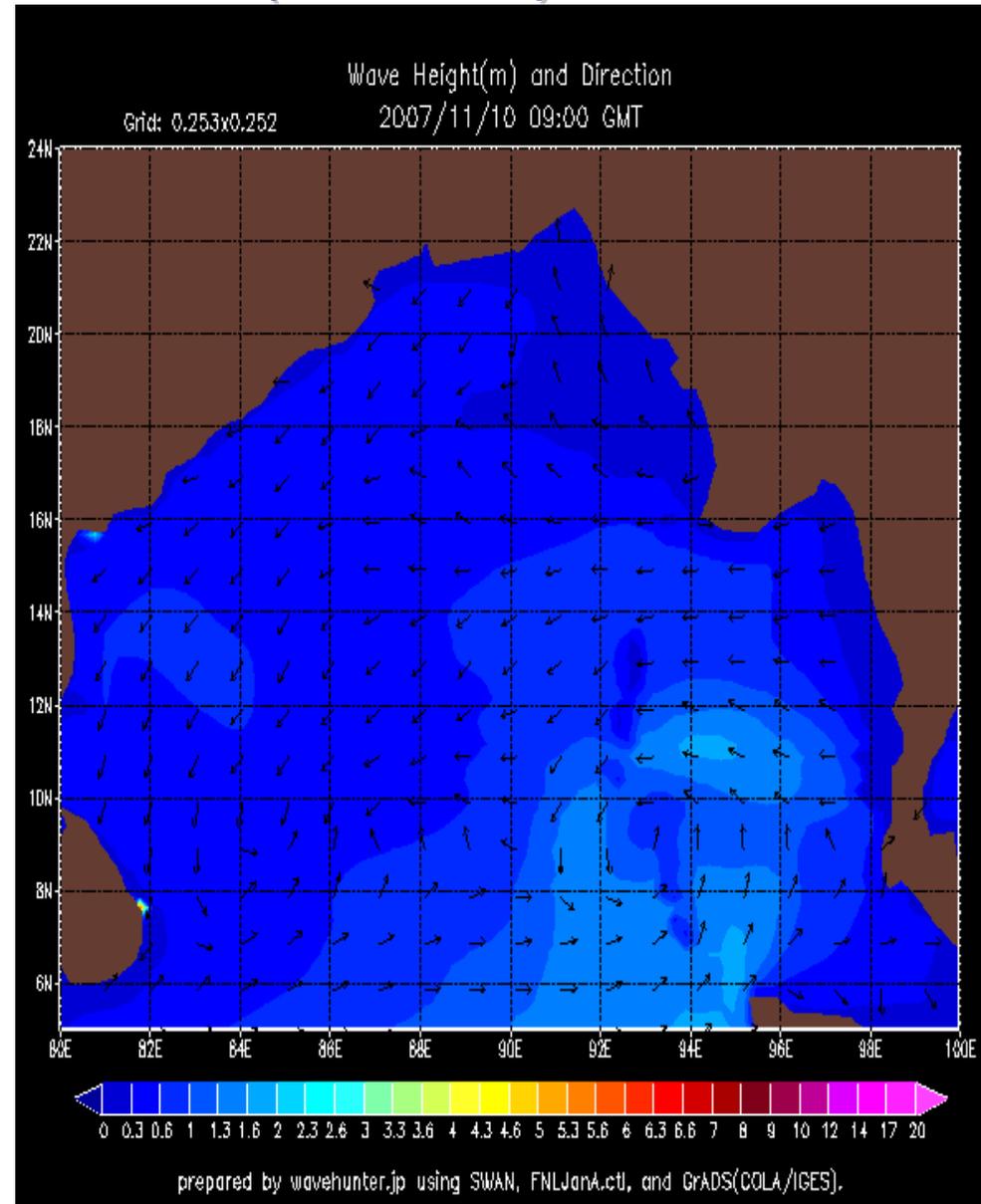
- $\Delta t = 300$ sec

- Frequency: 0 ~ 0.5Hz

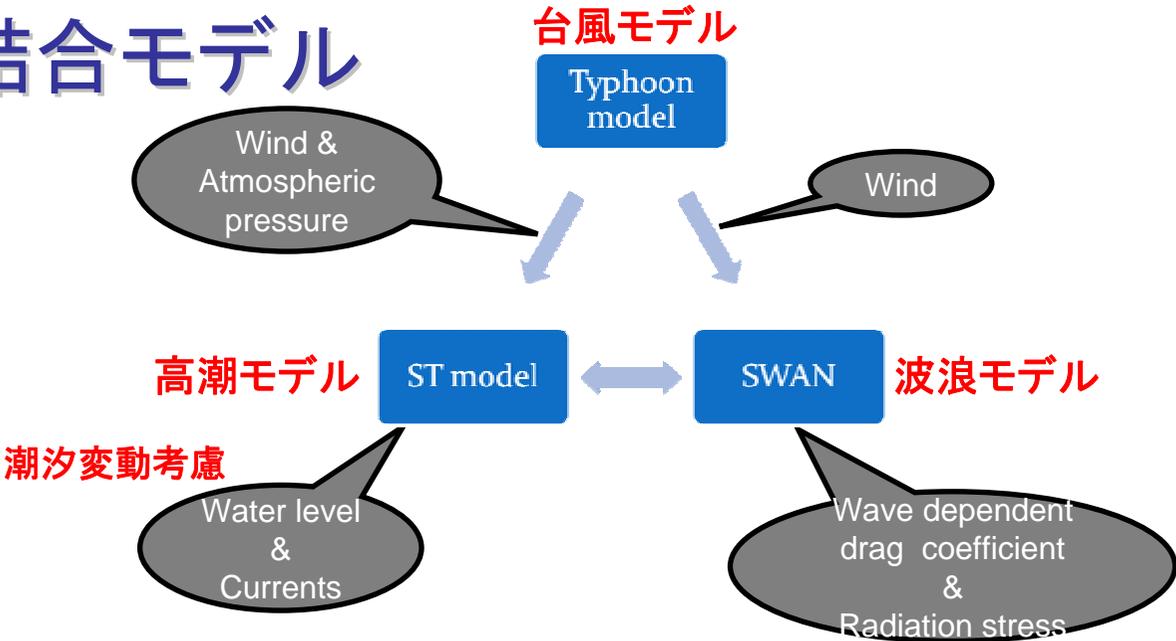
海面更正気圧と風速 (FNL)



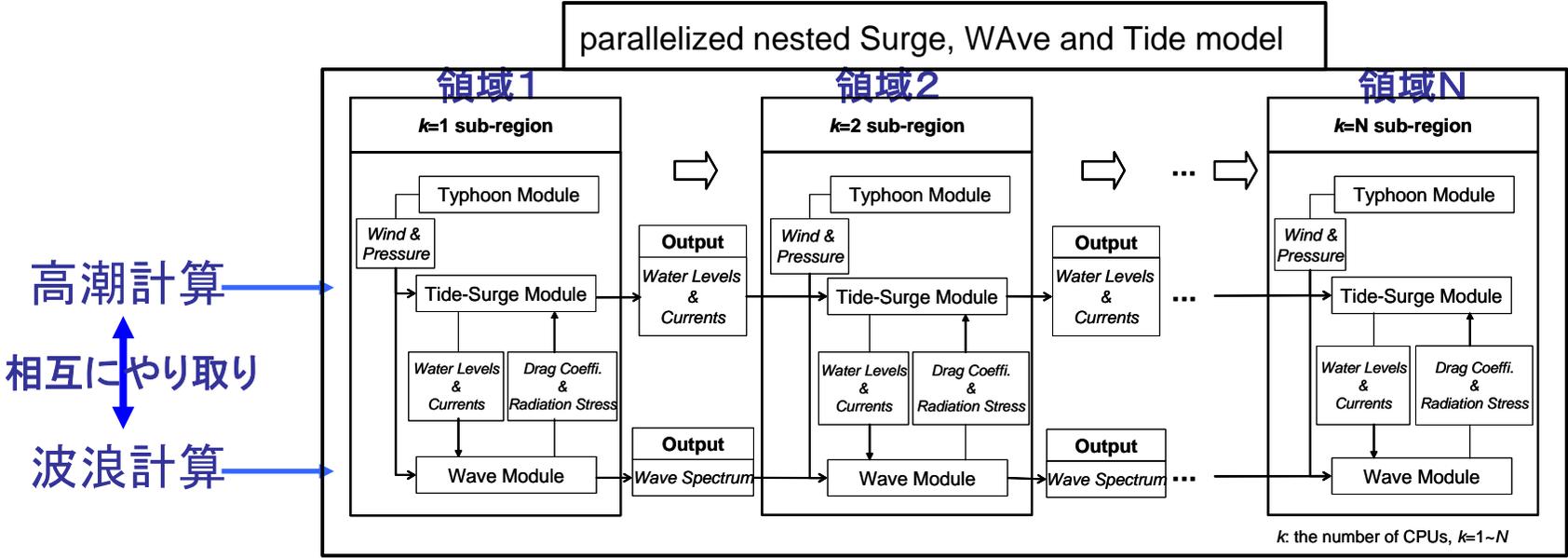
有義波高と波向 (SWAN)



潮汐-高潮-波浪結合モデル



パラレルマルチネスティング：異なる領域でもネスティング可能



潮汐・高潮モデル

非線形長波近似モデル

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{d} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{d} \right) + gd \frac{\partial \eta}{\partial x} = fN - \frac{1}{\rho} d \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{\rho} (\tau_s^x - \tau_b^x + F_x) + A_h \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{NM}{d} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{d} \right) + gd \frac{\partial \eta}{\partial y} = -fM - \frac{1}{\rho} d \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{1}{\rho} (\tau_s^y - \tau_b^y + F_y) + A_h \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right)$$

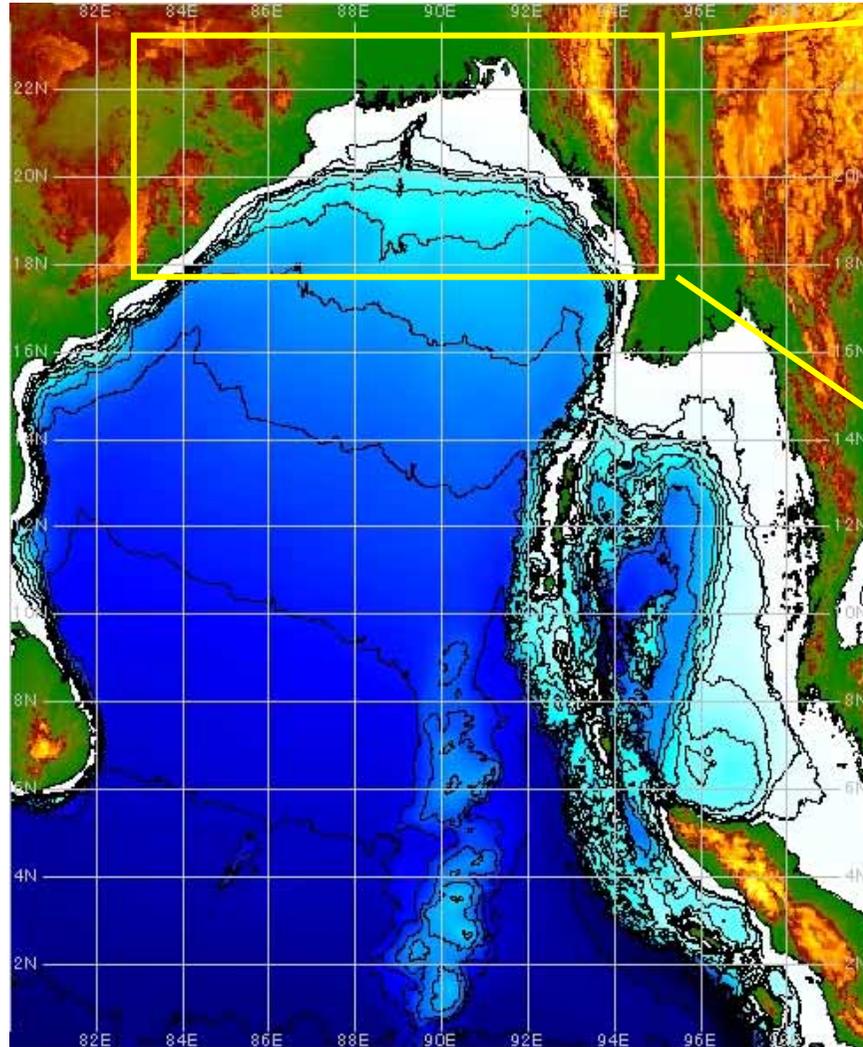
- h : the sea surface elevation,
 M and N : the depth integrated currents in x and y ,
 d : $h + \eta$, the total water depth,
 g : the gravitational acceleration,
 f : the Coriolis parameter,
 P : the atmospheric pressure,
 A_h : the horizontal eddy diffusion,
 ρ : the density of water,
 F_x and F_y : the radiation stress,
 τ_s : the wind stress,
 τ_b : the bottom stress ($\tau_b = \rho_w g n^2 \frac{U|U|}{d^{7/3}}$).

1 hPa = 1 cm

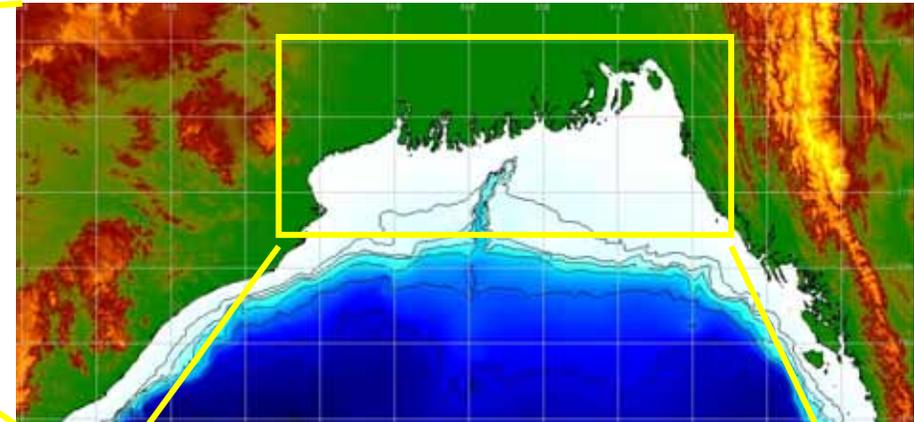
calculated by the
wave model

calculated by the
wave model

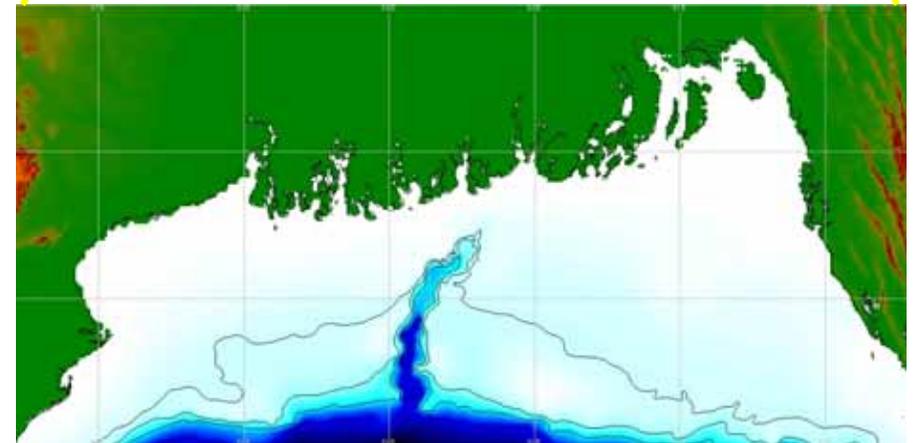
解析領域(領域ネステイング)



1st region 6min
0~24N, 80~100E



2nd region 3min
18~23.5N, 83~95E

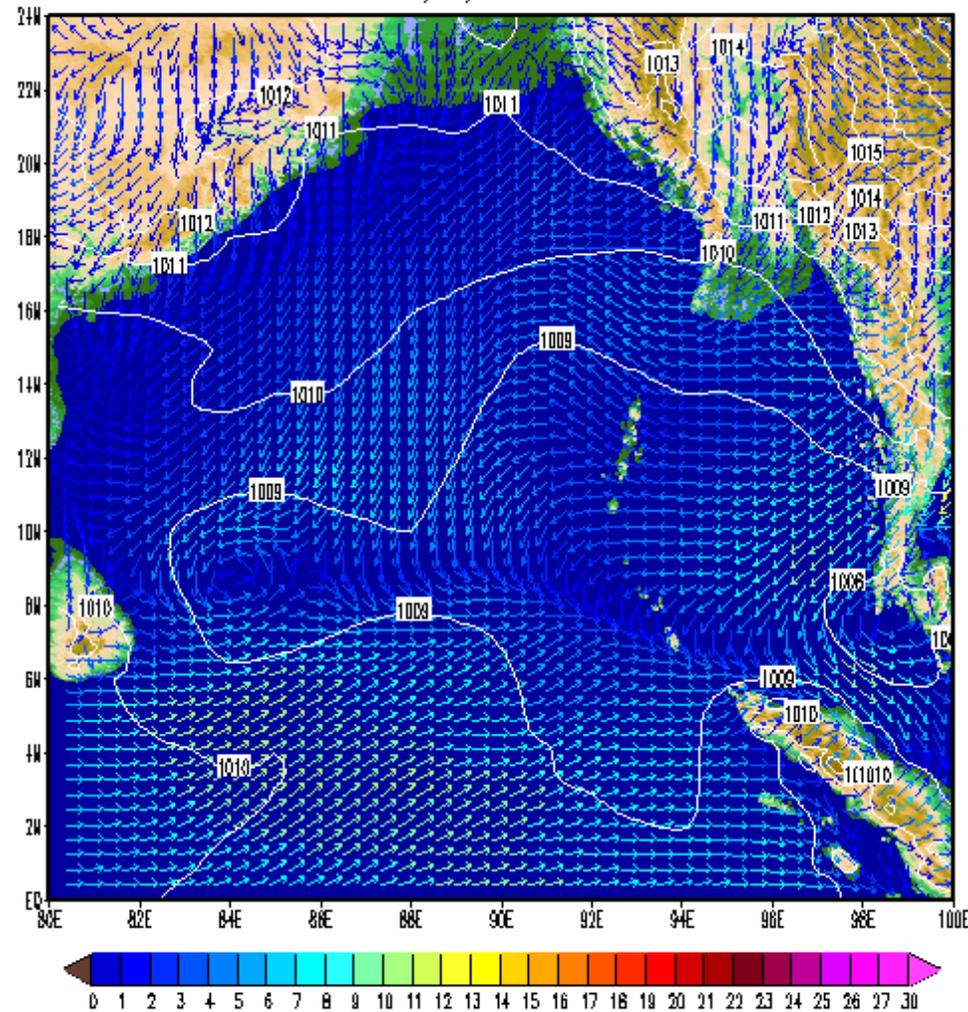


3rd region 1min
21~23N, 86.5~92.5E

海面更正気圧と10m風速 (WRF)

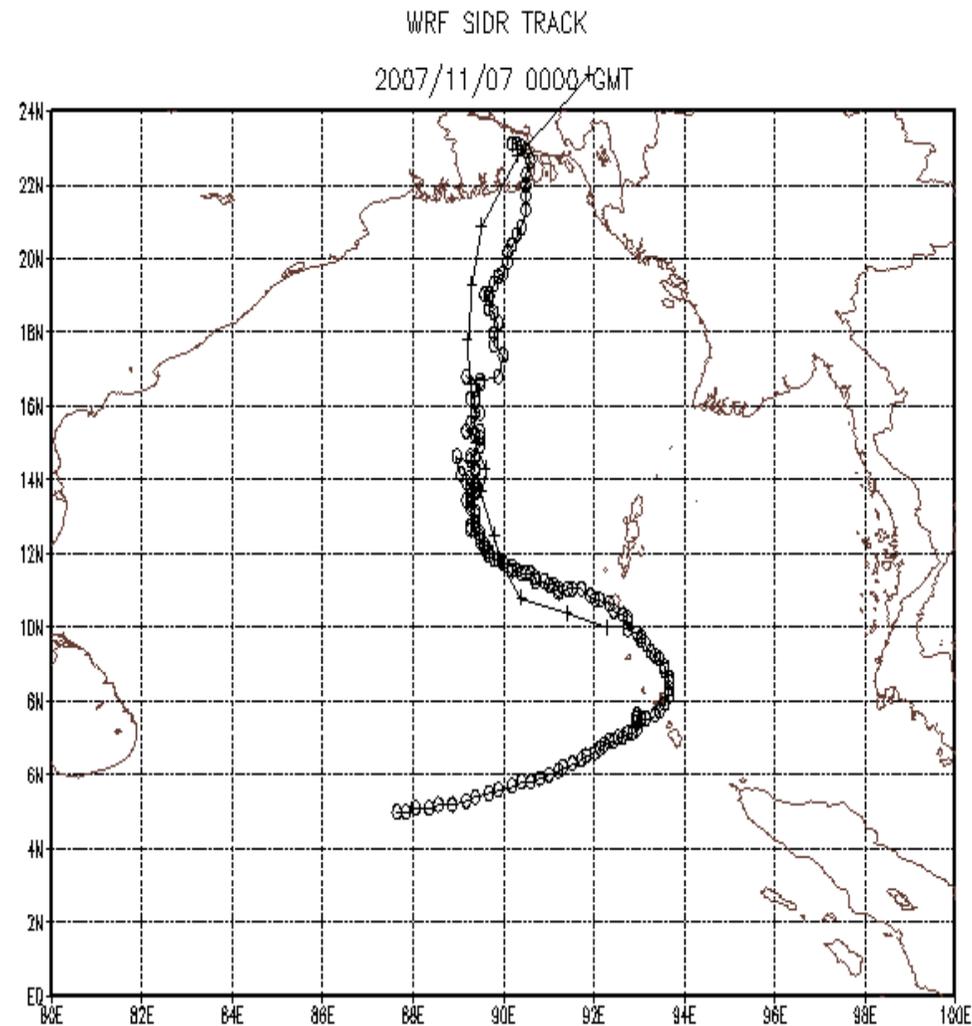
WRF Surface Level Pressure(hPa) & 10m Wind Speed(m/s)

2007/11/07 00:00 GMT

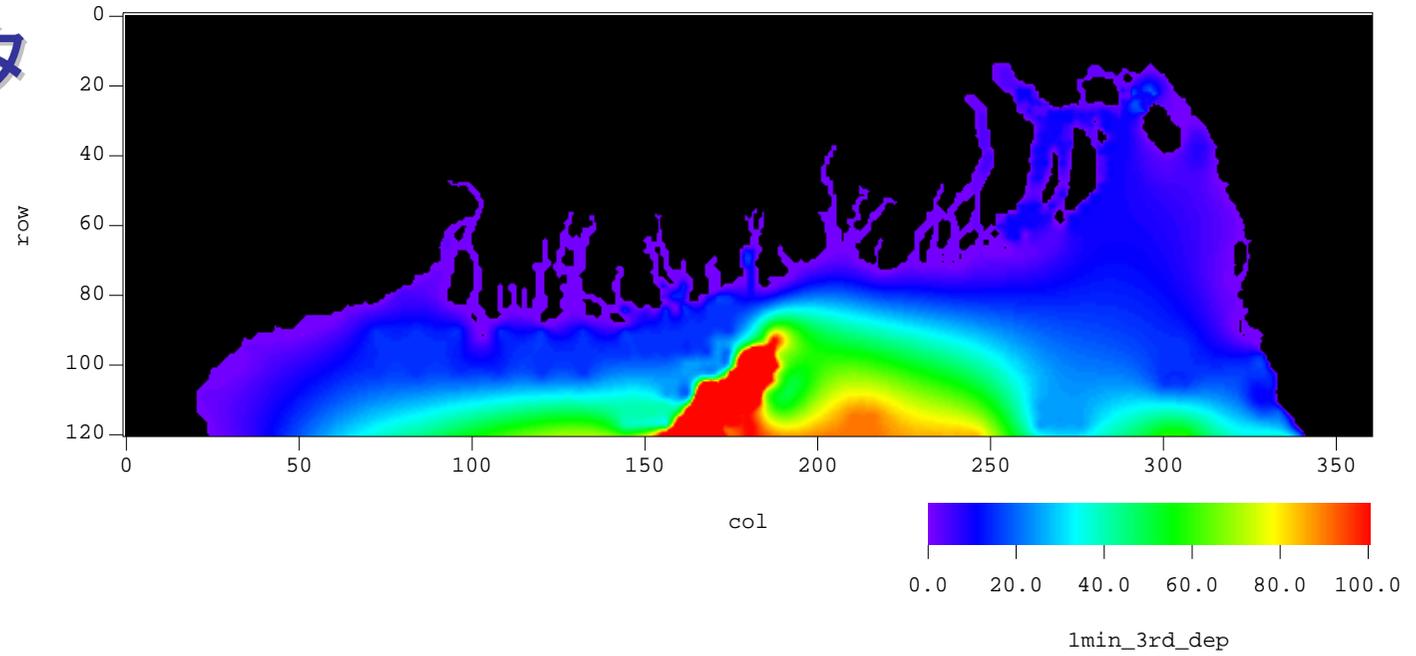


prepared by DPRI Kyoto University using WRF and GRADS(DLL/NCES).

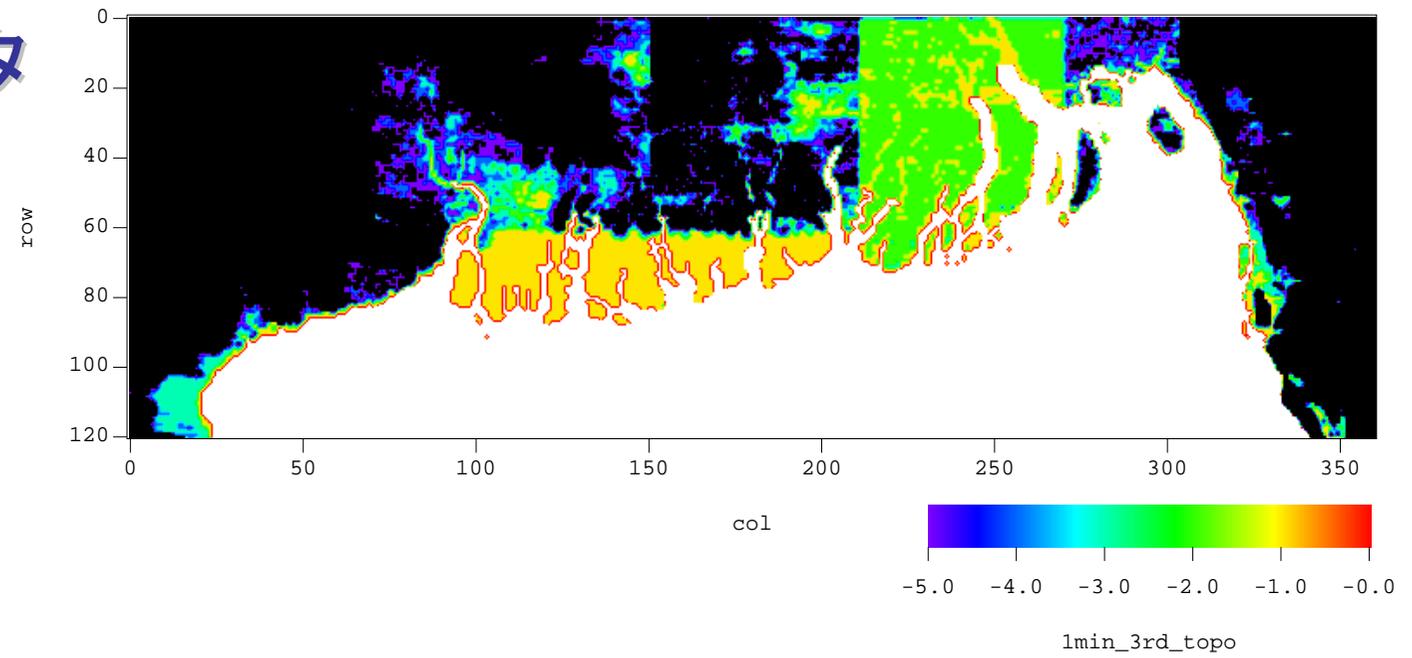
WRF計算結果とJTWCによる経路の比較



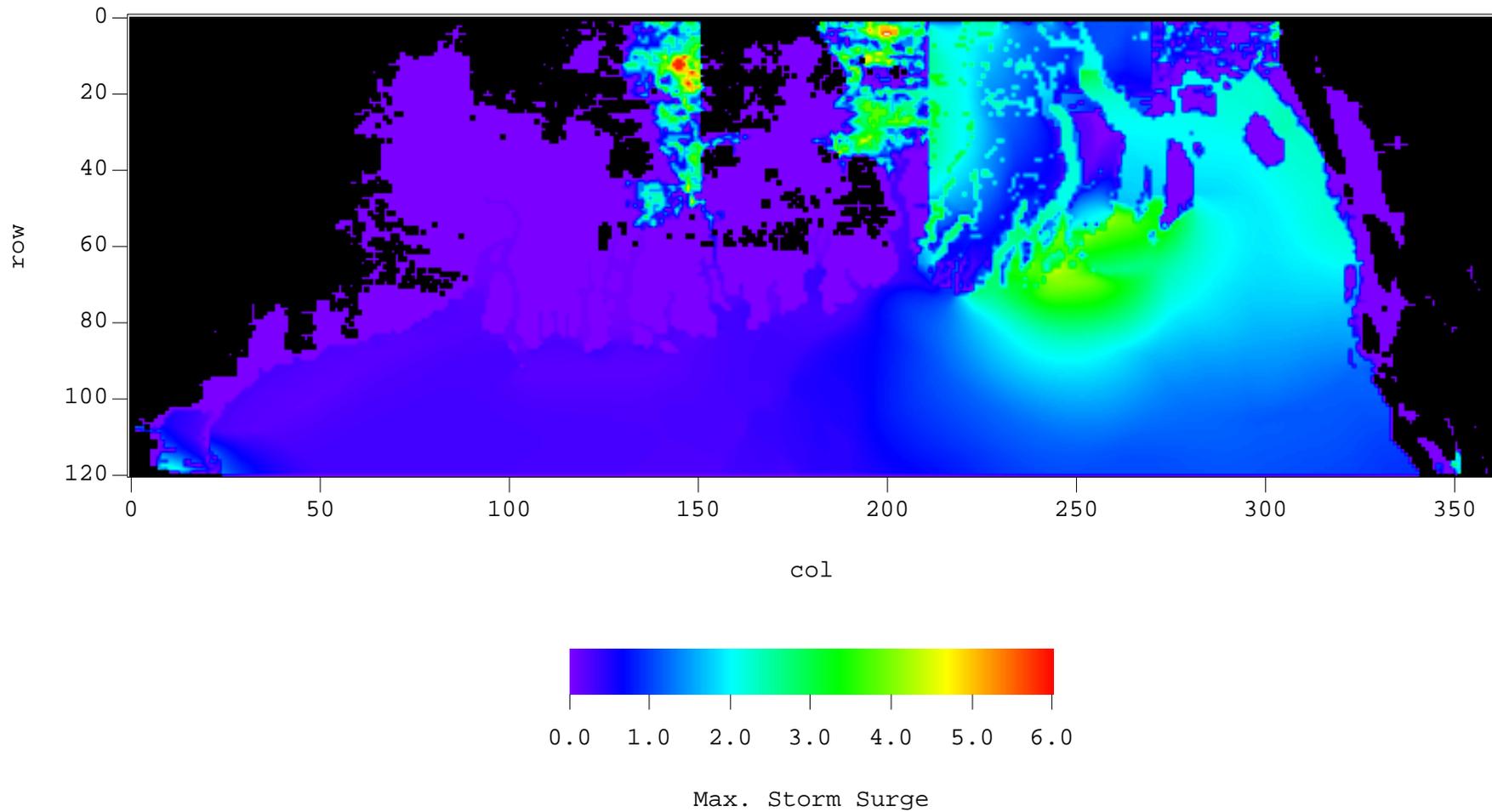
水深データ



標高データ



SuWATによる高潮シミュレーション結果 (高潮のみ)



主な結論

- ✦ 熱帯低気圧モデルと気象モデルの2通りで風・気圧場を計算し、高潮シミュレーションの入力条件とした。

- ✦ 熱帯低気圧モデル
 - 経路: JTWC
 - 気圧場: Myers, 風速場: Fujii and Mitsuta (SGW)
 - 最大風速半径 r_0 : 加藤らの式をチューニング→ Sarankhola: 6.5m, Borguna: 5.0m, Kuwakata: 3.5m

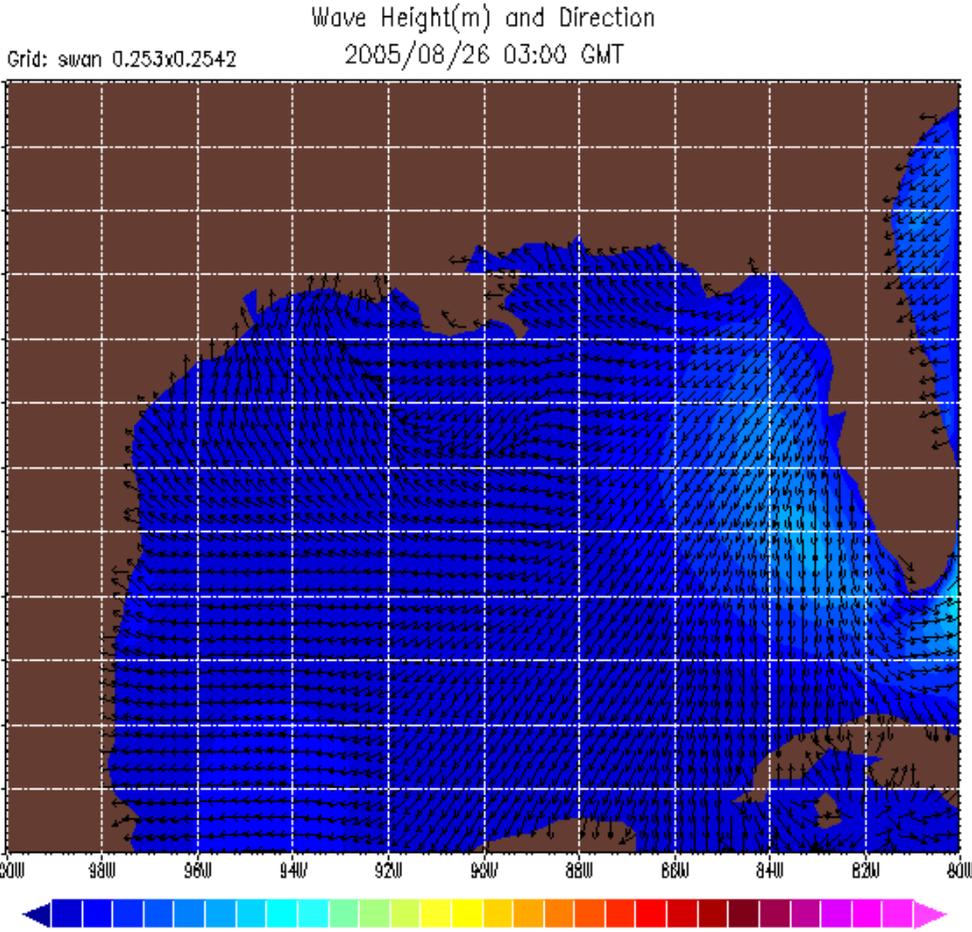
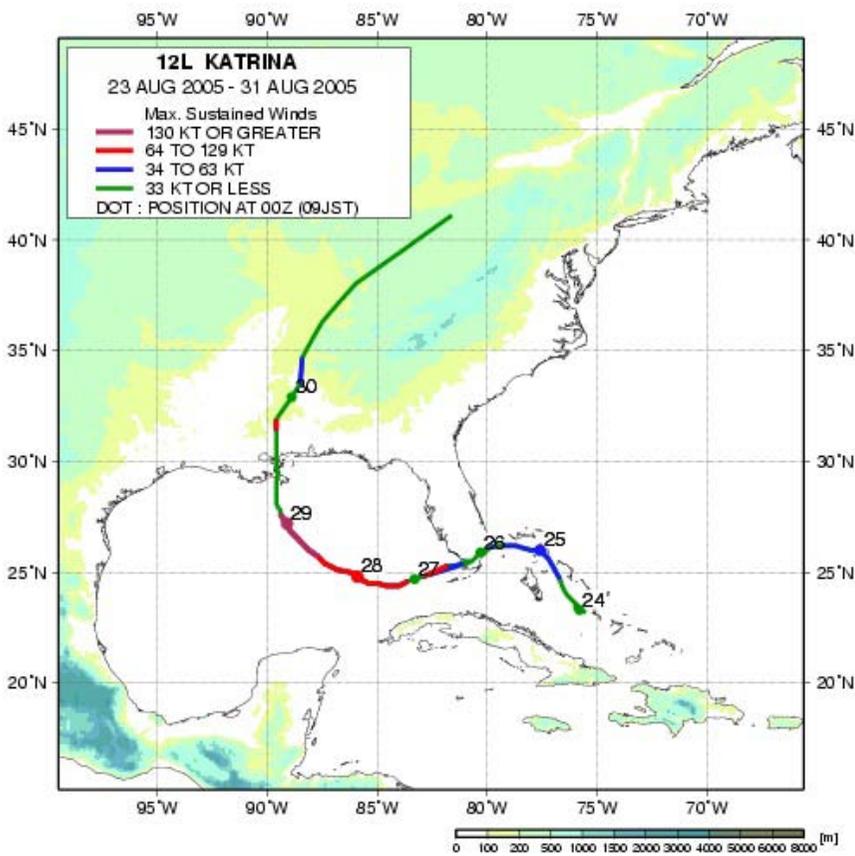
- ✦ 気象モデル
 - NCEP気象データ(FNL)を外力とし、波浪モデル(SWAN)で波浪を解析→ 有義波高 $H_{1/3}$ 3~5m
 - WRFによって気圧・風速場をダウンスケーリングし、高潮・波浪結合モデル(SuWAT)で高潮を解析→ 浸水解析の結果, 地盤上 3~6m

今後の課題とリアルタイム高潮予測

- ✦ 波浪・高潮結合モデルは計算コストが掛かるため、計算実行中
→ 高潮のみの解析結果より、高潮が約+1~2m高くなる
- ✦ リアルタイム高潮予測
 - **熱帯低気圧モデル**はパラメータのチューニングに専門家の経験的知識が必要、最大風速半径 r_0 の設定が難しい。
 - 安全側の大きめの予報値としては使える？
 - **気象モデル**の予報値をGFS-WRF-SuWATシステムの入力条件とすることで、高潮予測計算をすることができる
 - 1° メッシュのGFSデータは、高潮計算には粗すぎる。
 - メソ気象モデル(WRF)によるダウンスケーリングが必要だが、計算コスト負荷をどうクリアするか、並列計算機が必須か？

ご静聴ありがとうございました

Wave simulation results of Hurricane Katrina



prepared by wavehunter.jp using SWAN, GFS, and GrADS(COLA/IGES).

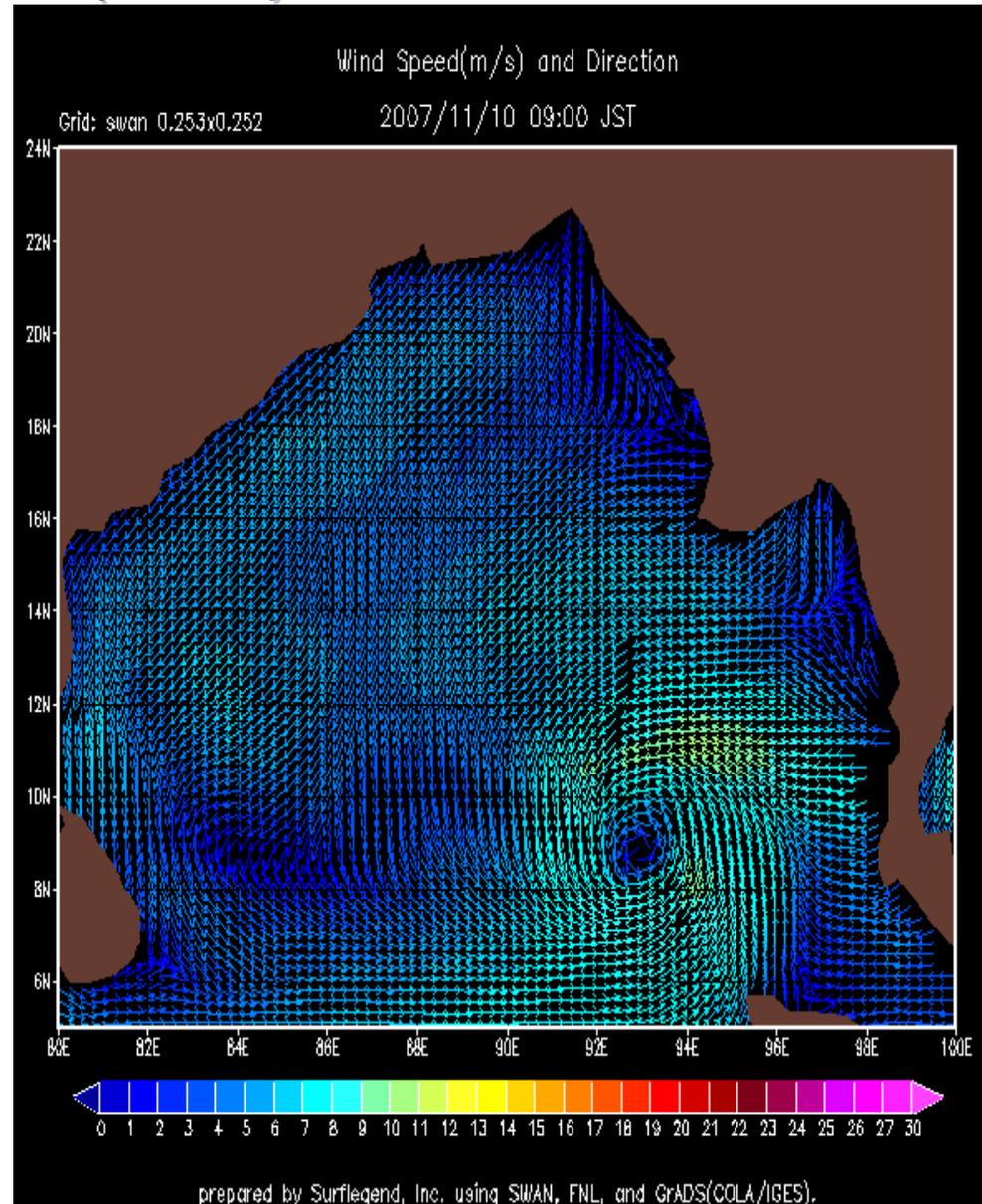
Energy Transfer Model in SWAN

- ✦ Komen et al.(1984): Default, same as WAM-cycle3
- ✦ Janssen(1989): same as WAM-cyle4
- ✦ Lalbeharry et al.(2004): Adopting the shift growth parameter Z_{α} , and using the limiter by Hersbach and Janssen(1999) on the Phillip's harmonic theory

GFS-WRF-SWAN&SuWAT システム

- ✦ GFS (Global Forecast System): Global atmospheric forecast model developed by NCEP
- ✦ WRF (Weather Research and Forecast): Meso-scale weather forecast model developed by NCAR
- ✦ Typhoon model: Calculating wind and pressure field (Fujita, Myers, Mitsuta & Fujii)
- ✦ SWAN (Simulating WAVes Nearshore): Third generation wave model
- ✦ SuWAT (the coupled-nested-parallelized Surge, Wave And Tide model)

風速と風向 (FNL)



Storm Surge Prediction Model and Its Application

➤ Model Development: SuWAT

- A numerical model using the coupled-nested-parallelized SURge WAve Tide (SuWAT) model
- Depth integrated nonlinear shallow water equations and Simulating WAVes Nearshore (SWAN) model using the Message Passing Interface.

Surface Water Stress

The total stress is treated as the sum of a turbulent and a wave-induced stress

$$\tau = \tau_{turb} + \tau_w$$

Radiation Stress

Excess momentum flux due to waves

- 1) Above two factors are used in Tide-Surge module
- 2) Surface elevations and velocities are used in the Wave module

地球温暖化への対応

Potential impact of sea-level rise on Bangladesh



Today

Total population: 112 Million

Total land area: 134,000 km²



1.5 m - Impact

Total population affected: 17 Million (15%)

Total land area affected: 22,000 km² (16%)