

「防災シミュレーション」講演会

-自然災害を科学する-

2018年7月12日(木)開催

プログラム

13:20～13:25 (5分)	主催者あいさつ アドバンスソフト株式会社 代表取締役社長 松原 聖	
13:25～14:05 (40分)	「リスクの評価と活用 ーより良い防災のあり方を考えるー」 東京大学 大学院工学系研究科原子力専攻 教授 山口 彰 様	・・・ 1
14:05～14:45 (40分)	「防災へのシミュレーションの活用」 中央大学 理工学部 都市環境学科 海岸・港湾研究室 教授 有川 太郎 様	・・・ 19
14:45～14:55 (10分)	休憩	
14:55～15:35 (40分)	「南海トラフ巨大地震の予測と防災」 名古屋大学 地震火山研究センター 教授 山岡 耕春 様	・・・ 39
15:35～16:15 (40分)	「地震・噴火・気象災害の予測への人工知能技術の活用」 東京大学 名誉教授 アドバンスソフト株式会社 研究顧問 井田 喜明	・・・ 53
16:15～16:25 (10分)	「防災に係る数値シミュレーションのご紹介」 アドバンスソフト株式会社 主任研究員 富塚 孝之	・・・ 67
16:25～16:50 (25分)	総合討論及び質疑応答	

リスクの評価と活用 ーより良い防災のあり方を考えるー

山口 彰
東京大学大学院
yamaguchi@n.t.u-tokyo.ac.jp

1

内容

防災シミュレーション ー自然災害を科学するー

- リスク評価：黎明とつまずき
- リスク評価は不確かさの管理
- 動的でシームレスなリスク評価
- よりよい防災のために

2

リスク評価：黎明とつまずき

3

リスクは十分に低いのか

- 原子力の平和利用の黎明期（1950年代）、米国の原子力委員会は、規制要求は適切であり、ハザードに対して原子力発電システムを防護できると確信していた
 - 一方、全てのリスクを除去できないことを認めてもいた
- 米国の原子力委員会、ACRS (Advisory Committee on Reactor Safeguard)の初代議長C. Rogers McCulloughは1956年の合同委員会で以下のように述べた
 - 原子力発電システムの技術的な不確かさと運転経験の限界がゆえ・・・ハザードが許容できるほどに小さいとすることは、判断・裁量の問題である（the determination that the hazard is acceptably low is a matter of competent judgment.）

4

WASH-740 (Brookhaven Study)

リスクと損害賠償

- 1954年 Atomic Energy Act⇔原子力損害賠償
- 1950年代：設計基準と深層防護のアプローチ
 - 安全解析における“不確かさの科学”の重要性が認識されたが、定量的方法は存在しなかった
- 1956年 AECは潜在的な損害について検討
- 1957年 WASH-740: Theoretical Probabilities and Consequences of Major Accidents at Large Nuclear Power Plants, Brookhaven National Laboratory
 - 目的：事故のリスクを知ること、原子力損害賠償（Price Anderson Act）の根拠とすること
 - 結果：死者3,400人、負傷者43,000人、財産損害は7B\$

5

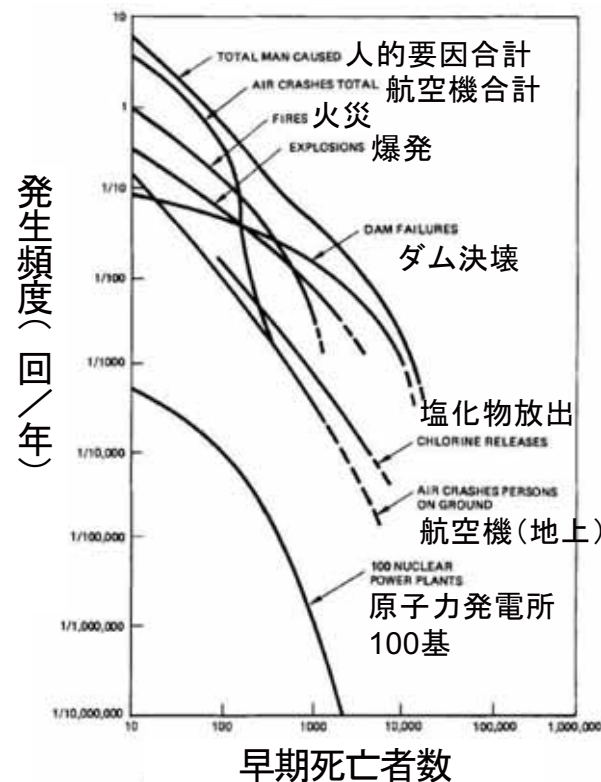
WASH-740は何が足りなかったのか

- 500MWt、市街地から30マイルのプラントの仮想的かつ保守的な事故条件
 - 気象条件を最悪と仮定
 - 格納建屋を考慮しない
 - 炉心の放射性物質の半分の量がミクロンサイズで大気中に放出される
- 原子力委員会は損害賠償上限を560M\$と定め、そのほとんどを政府が負うこととした
 - 1957年9月2日 Price Anderson法が10年時限立法
 - 10年後の原子力発電所の安全に関する知見蓄積に期待
- 1964年秋 WASH-740の後続研究
 - 死者数は43,000人、財産損害は以前の評価の数倍以上
 - 確からしさと影響度の関係

6

確率論的リスク評価の先駆的研究

Reactor Safety Study (R.C.Rasmussen, 1975)



リスクの理解

- ・設計基準への疑問
- ・ヒューマンエラー
- ・外的事象

リスクマネジメント

WASH-1400 (1975)

7

WASH-1400は何が足りなかったのか

- ラスムッセン報告は、原子力発電所びよるリスクは、火災、爆発、化学毒物流出、ダム決壊、航空機墜落、地震、竜巻、ハリケーンなどの他のリスクと比較すればとても小さいということを示した
- 重大な事故に至る多くの多くのパスを考慮していないとの指摘も関係当局からあった
- 原子力発電の相対リスクについての結論導くにはデータが不十分であるとの指摘もあった
- これらの議論を考慮した結果、原子力規制委員会は1979年1月の政策声明でWASH-1400の結論を取り下げると述べた

リスク評価は不確かさの管理

9

複雑なシステム：技術的困難へのチャレンジ

- 確率論的方法で定量的リスク評価を行う困難
 - 原子炉の設計と運転はあまりに複雑である
 - 機器やシステムの故障に関するデータが欠如している
- 複雑なシステムの取り扱いー原子力以外の分野との協力（R. C. Rasmussen）
 - ベル研究所の開発したイベントツリー/フォルトツリー法
- データが十分でないことへの対処（Stan Kaplan）
 - 統計とはデータを扱う学理である
 - 確率はデータの欠如を扱う学理である
 - 将来にわたってもデータが充分になることはない；我々は、持っているデータを使いこなしていないだけである

10

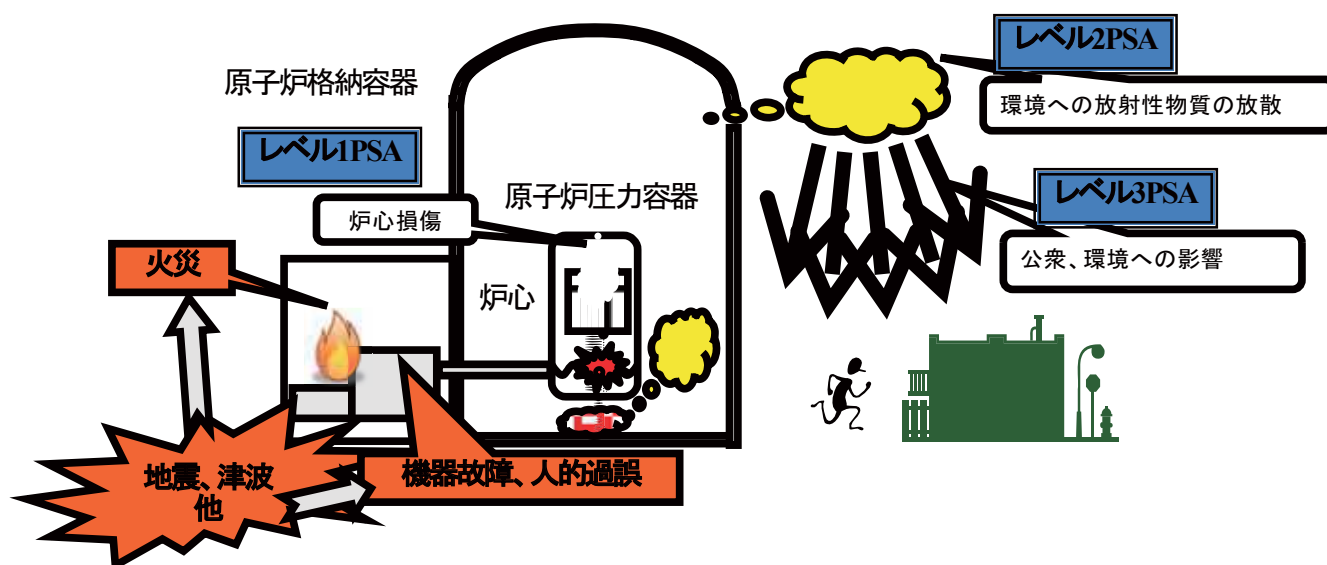
原子力規制委員会がPRAの有用性の認識する

- 1979年 憂慮する科学者連合（UCS）が、Indian Pointの2号機、3号機を廃炉とする嘆願書を提出
- ZionとIndian PointのフルスコープPRA がなされる(1981, 1982)
 - 現状の設計は適切な安全性を備える
 - バックフィットの効果（リスク低減への寄与）は小さい
 - リスクを低減させるコストの低いより優れた変更をいくつか提案
- 審査の場で、規制問題を合法的に解決する基盤をPRAの結果は提供することが述べられた

11

リスク評価ーレベル1、2、3

- 起こりそうなシナリオに対して的確に対応の準備をするのが現実的で有効な原子力災害対策

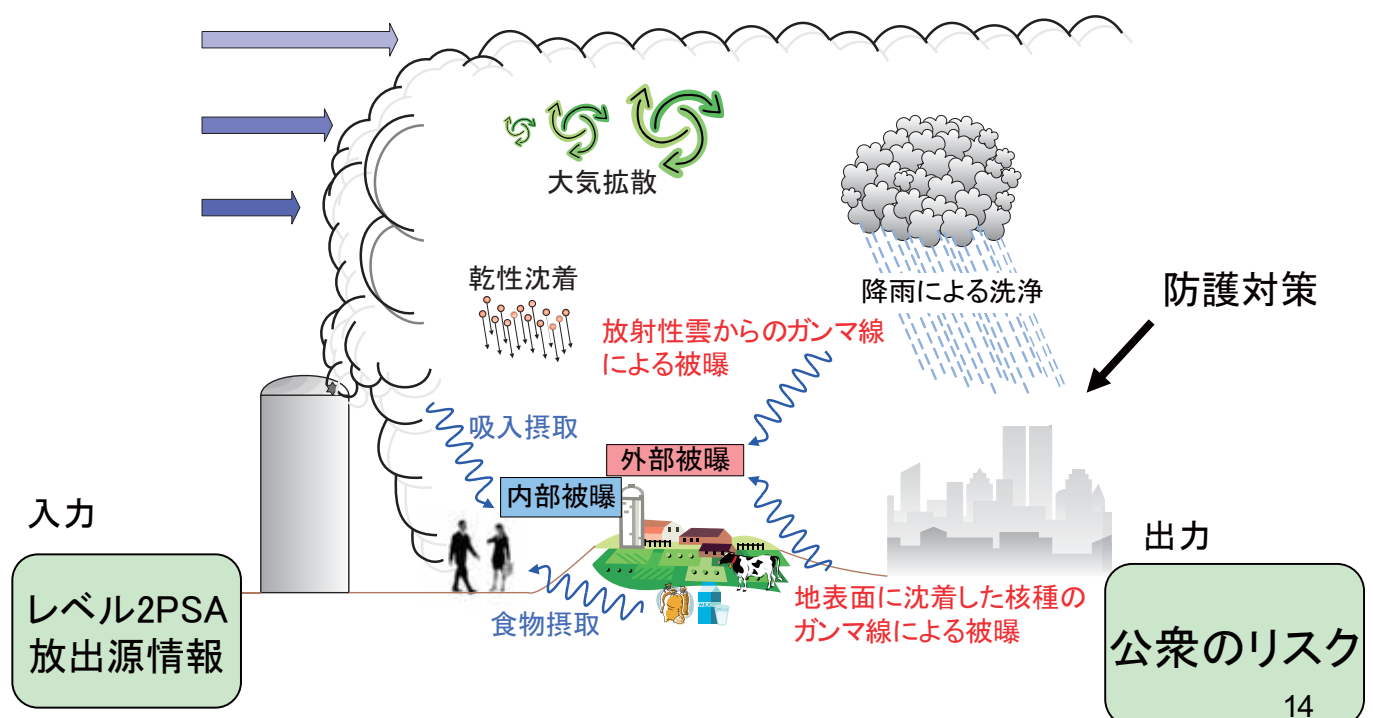


リスク評価で扱う起因事象

- 内的事象
 - システム内で発生する事象（機器故障や人的過誤）が起因となるもの
- 外的事象
 - システム外で発生する事象が起因となるもの
 - 外部ハザード
 - 自然ハザード（地震、津波、火山噴火、台風、森林火災）
 - 人為ハザード（航空機落下、船舶の衝突）
 - 内部ハザード（内部火災、内部溢水、重量物落下）
- 原子力発電所のリスク評価ではあらゆる起因事象を考慮対象とする

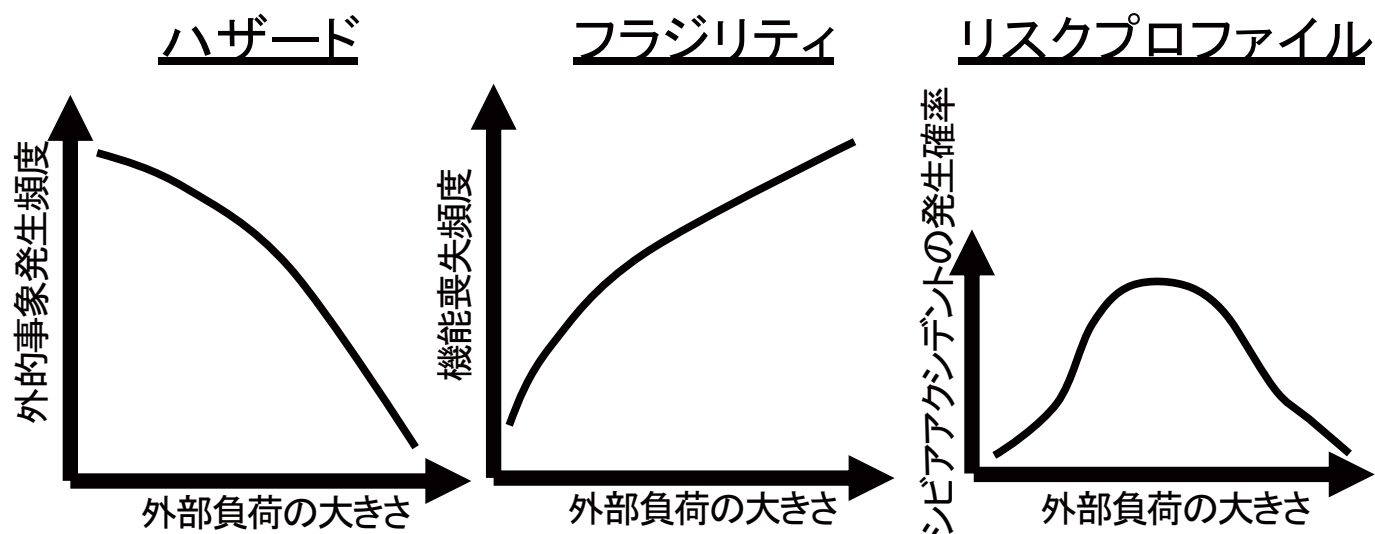
13

レベル3PRA — 公衆のリスクは？



14

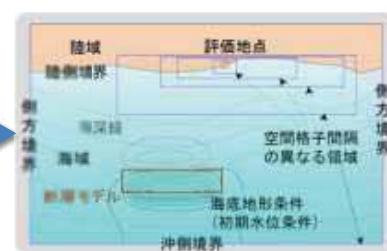
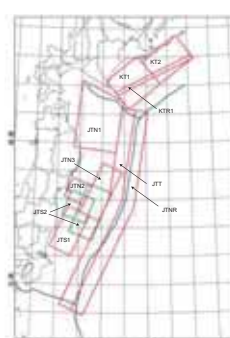
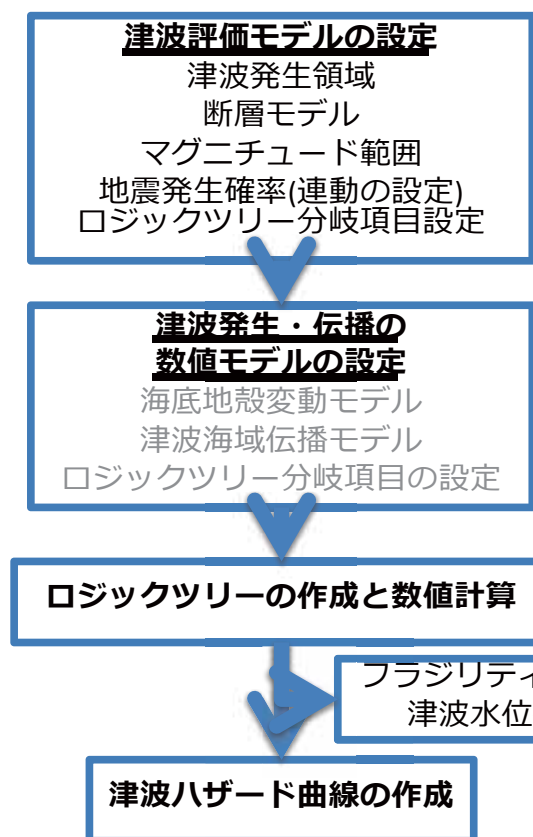
外的事象のリスク：Stress-Strain Model



ハザードとフラジリティを組み合わせ
てリスクプロファイルを得る

15

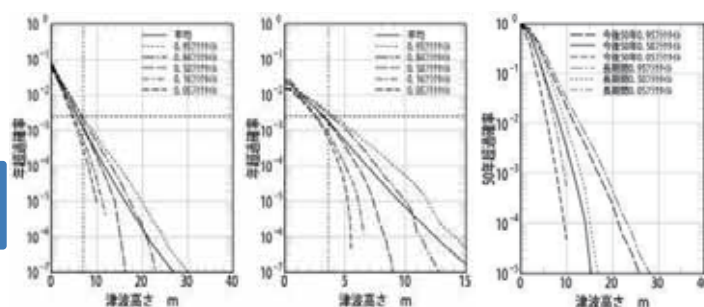
ハザードの評価（津波ハザード）



(a)近地津波+遠地津波(長期間)

(c)(長期間と今後50年の比較)

(b)遠地津波(長期間)

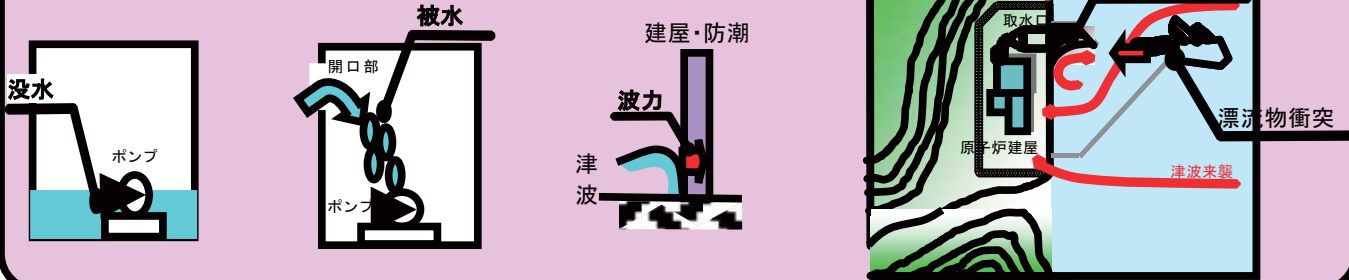


16

多様なシナリオ、複合シナリオ

直接的な被災による事故シナリオとして考慮すべき影響

津波の影響	建物・構築物、機器・配管系への影響
浸水による設備の没水、被水	設備の動的機能損傷、電気設備の発電/送電機能損傷
津波波力、流体力、浮力	建物・構築物、機器・配管系の構造的損傷
海底砂移動	海水取水設備の機能損傷
引き波による水位低下	海水取水設備の機能損傷



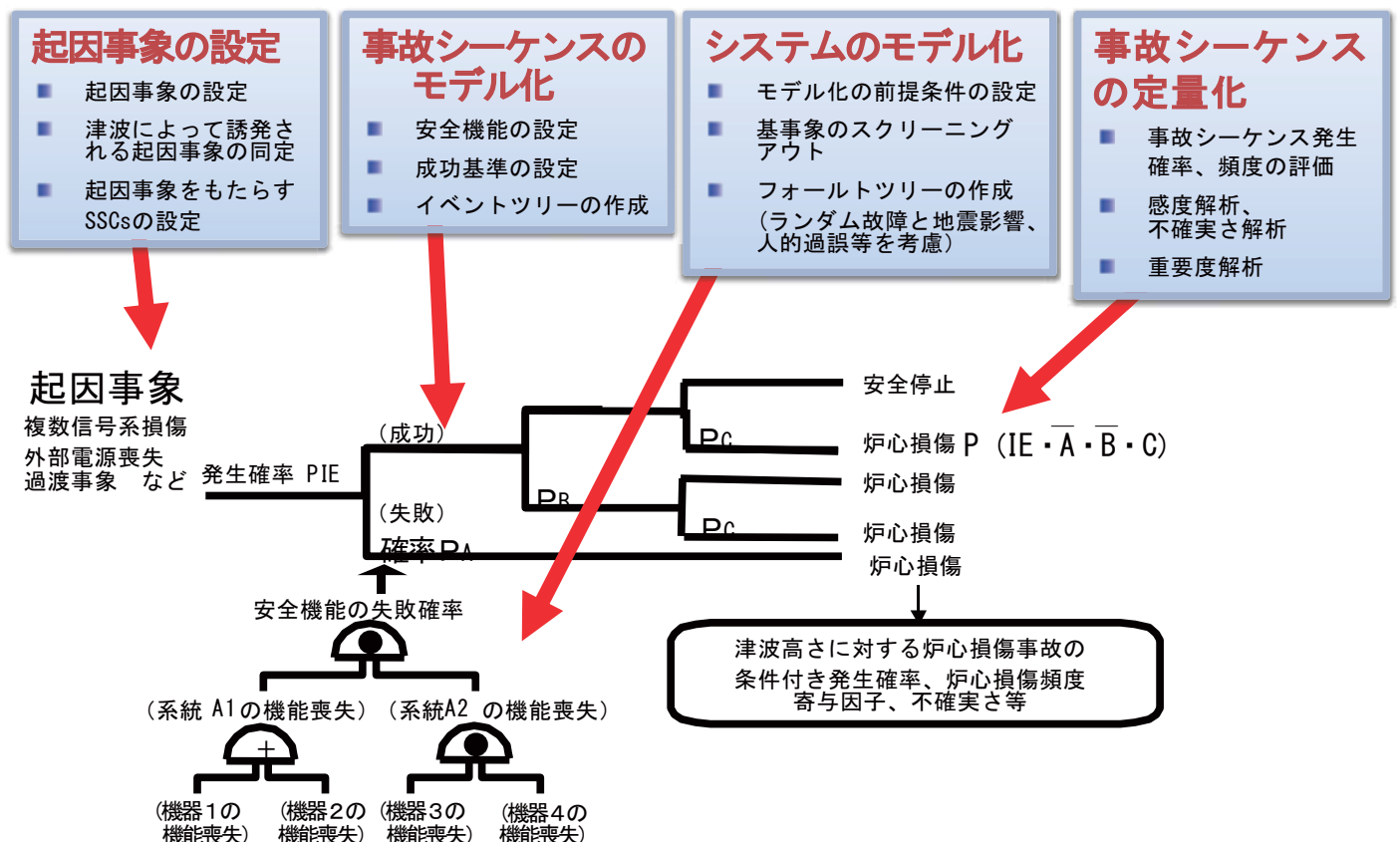
間接的な被災による事故シナリオは、漂流物が発電所施設に衝突する場合などをサイト条件に応じて考慮する。

- (漂流物の例)
- ・津波によって発電所内の施設から流出した漂流物
 - ・発電所周辺の漁港から流出した漁船
 - ・発電所周辺の貯木場から流出した木材

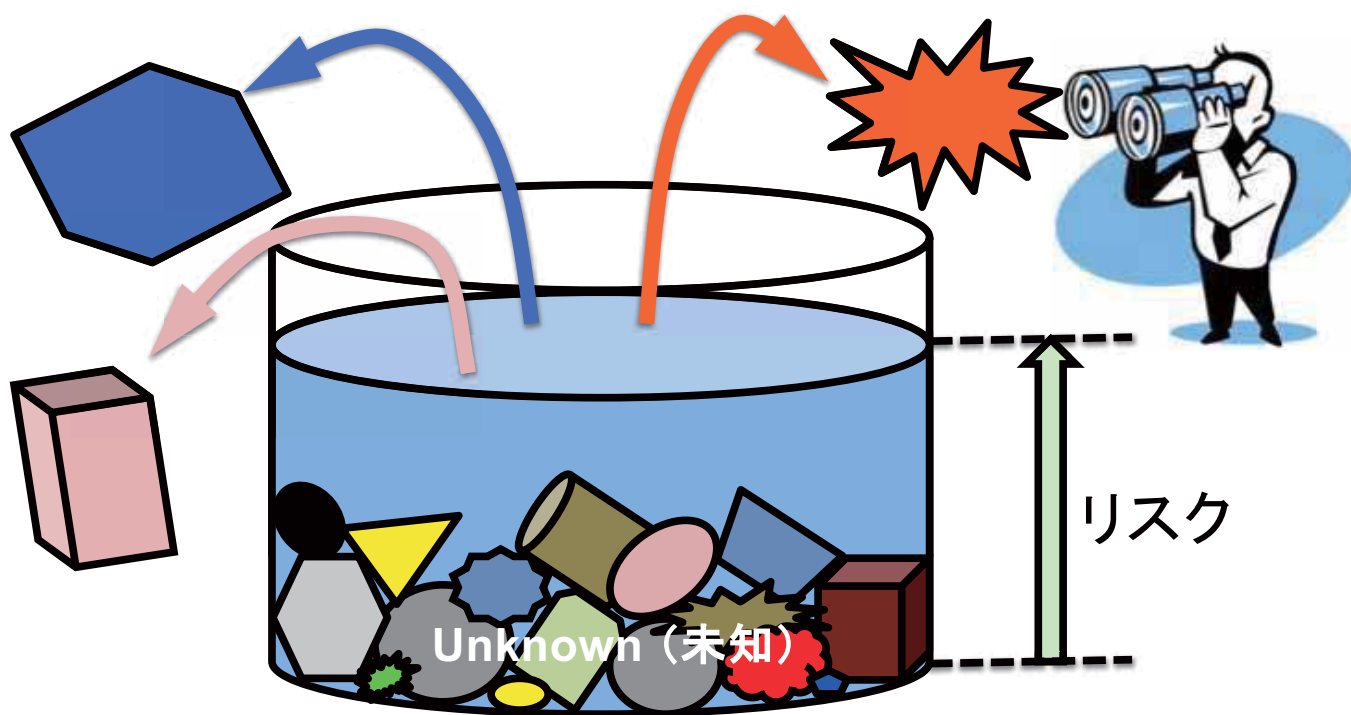
複数プラント間で共有する設備が損傷するなど、**従属的な影響を及ぼす事故シナリオ**の可能性を考慮

17

津波事故シーケンス評価の構成要素



リスクとは不確かさの管理

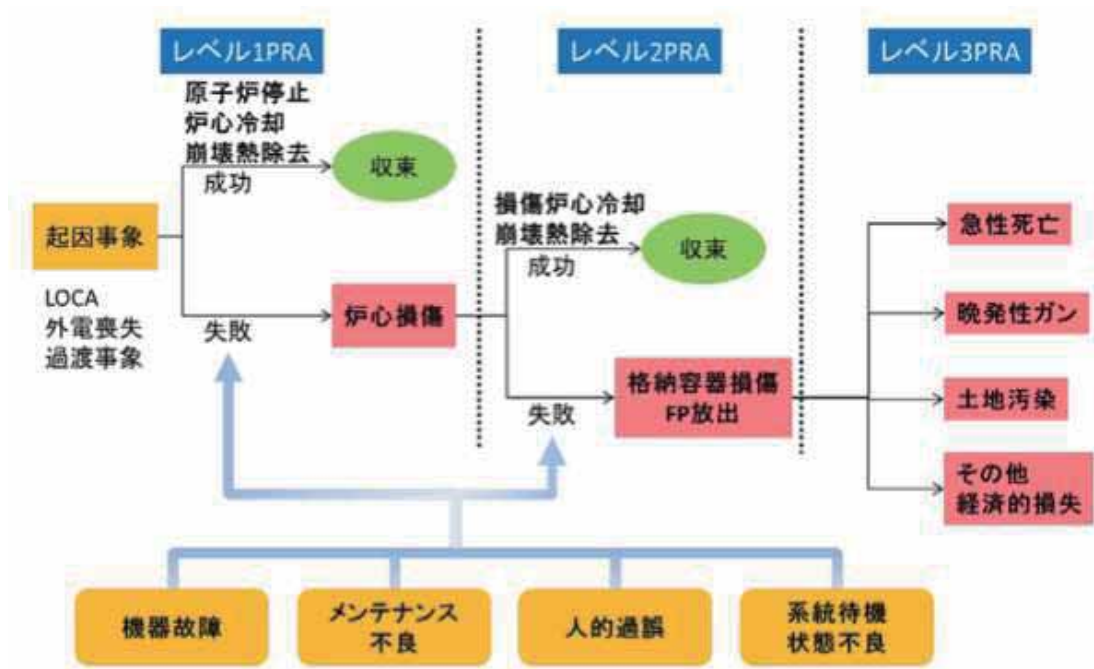


19

動的でシームレスなリスク評価

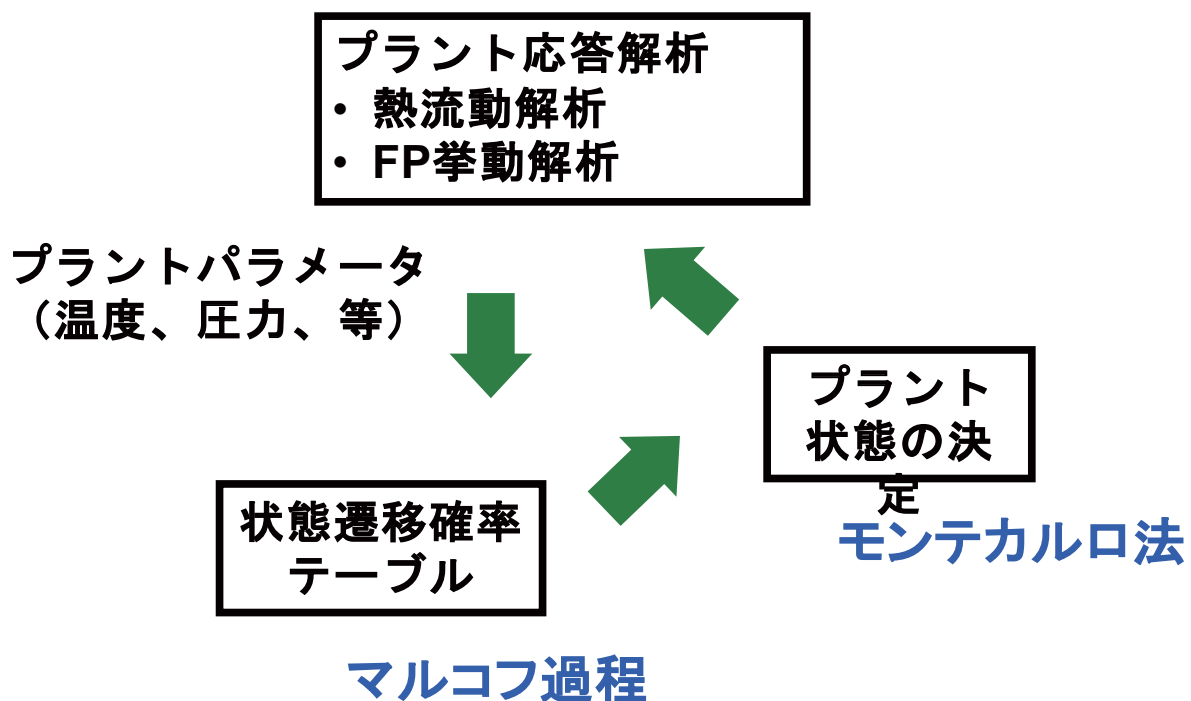
20

事故の進展は分割できない



21

連続マルコフ過程モンテカルロ（CMMC）法

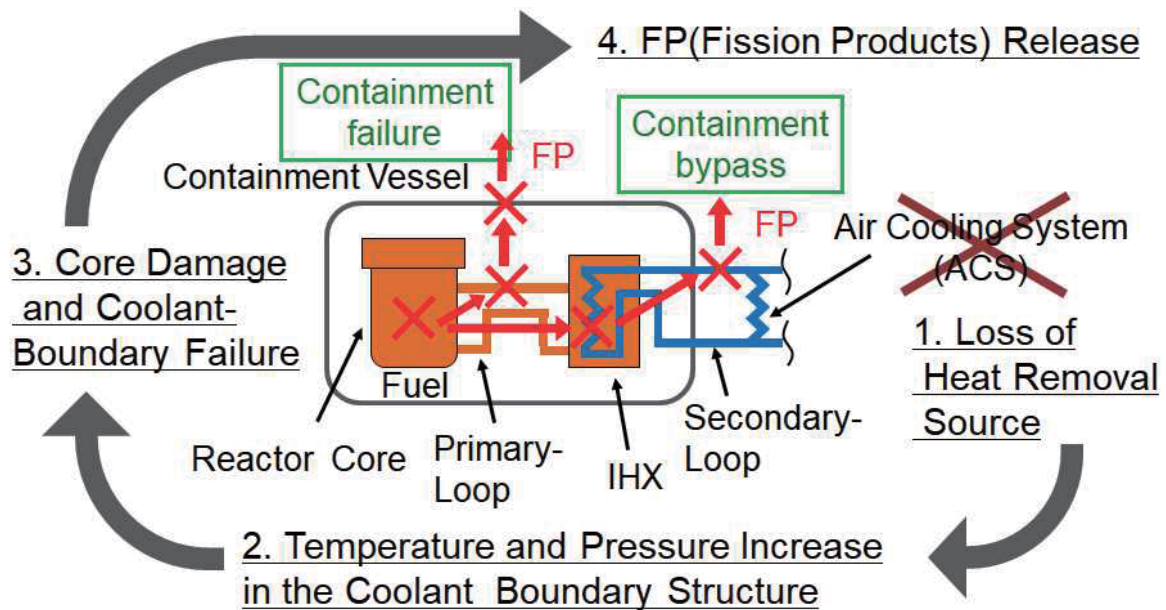


22

高速炉の崩壊熱除去機能喪失事故の評価

■ 崩壊熱除去機能喪失事故

- システム温度ならびに圧力の上昇により冷却材温度上昇



23

核分裂生成物（FP）の挙動

■ 主要78核種の、輸送、沈着、漏洩、減衰を評価

冷却材中のFP濃度[モル/kg]

冷却材による輸送 沈着

$$\rho_j V_j \frac{dC_{pk}}{dt} = \boxed{W_j (C_{uk} - C_{pk})} - \boxed{\Gamma_{jk} A_j \rho_j C_{pk}} + \boxed{K_k X_{jk}} - \boxed{\rho_j V_j \lambda_k C_{pk} + \rho_j V_j \sum_{l=1}^m \lambda_l C_{pl}}$$

■ FP放出パス

燃料からの放出

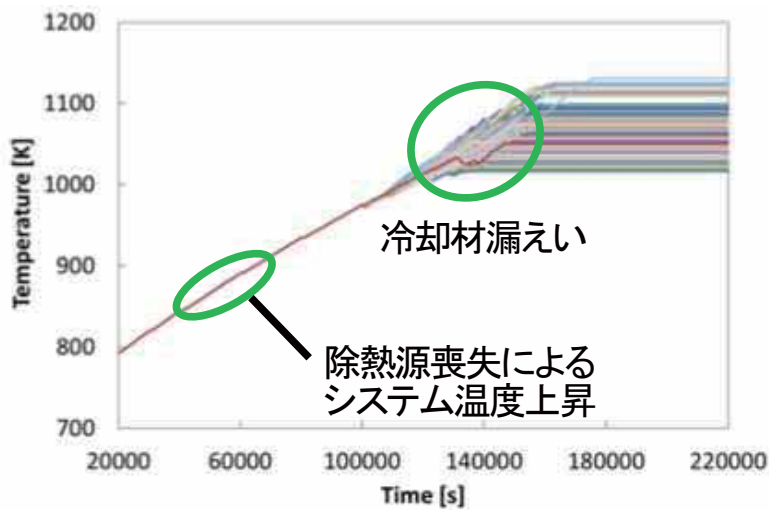
崩壊減衰

- 燃料→原子炉容器→格納容器→外部
- 燃料→原子炉容器→一次主冷却系→格納容器→外部
- 燃料→原子炉容器→一次主冷却系→二次主冷却系→外部

24

システム温度上昇による冷却材漏えい

一次種冷却系の温度挙動(100サンプルシナリオを表示)



サンプルシナリオ毎に冷却
バウンダリ破損のタイミン
グが異なる

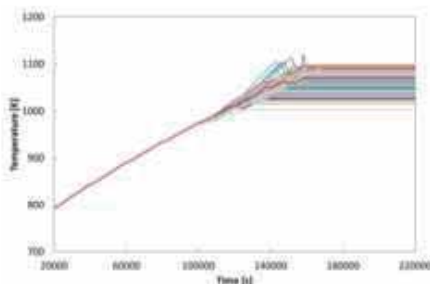


FP 放出シナリオも多様

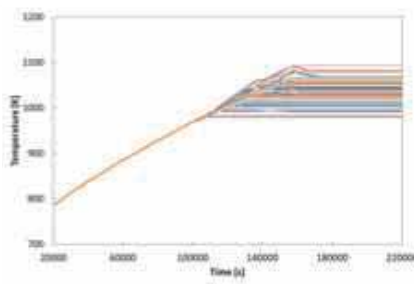
25

システム挙動（100サンプルのみ表示）

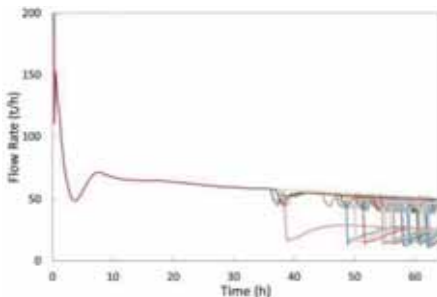
一次系ホットレグの温度



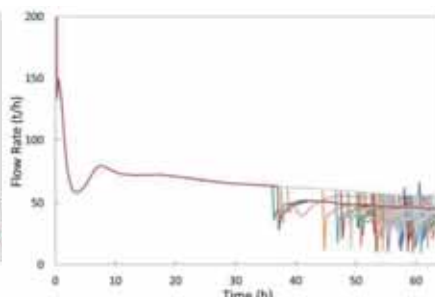
二次系ホットレグの温度



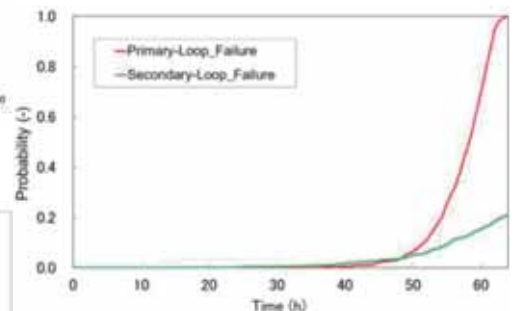
一次系冷却材流量



二次系冷却材流量



熱クリープによる一次系バウンダリ
と二次系バウンダリの破損確率

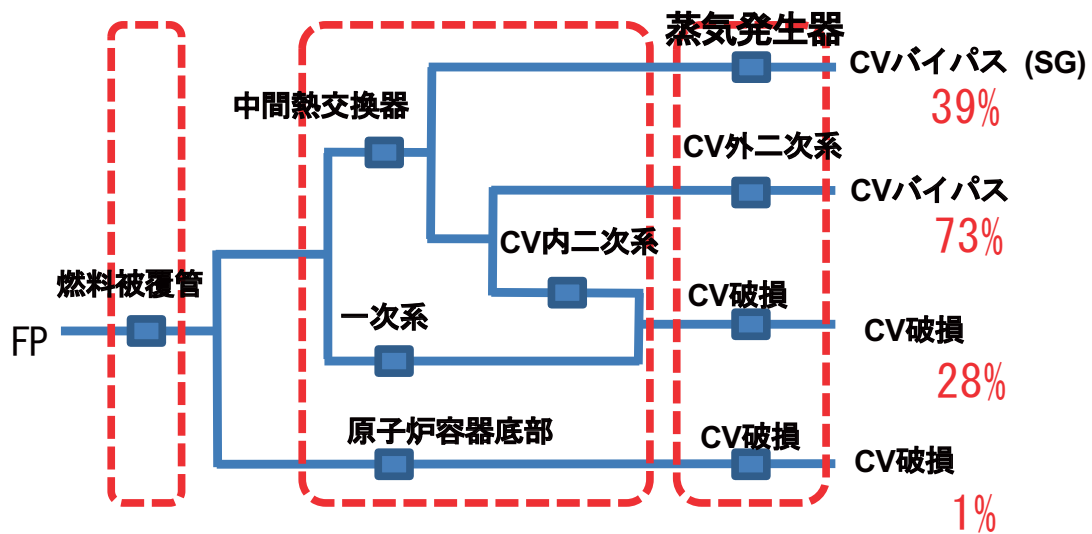


シビアアクシデント解析コードから得られるプラントパラメータ
を用いて、システム破損確率を評価

26

放射性物質の放出シナリオ

1
8



物理障壁でみた事故進展

燃料ペレット
燃料被覆

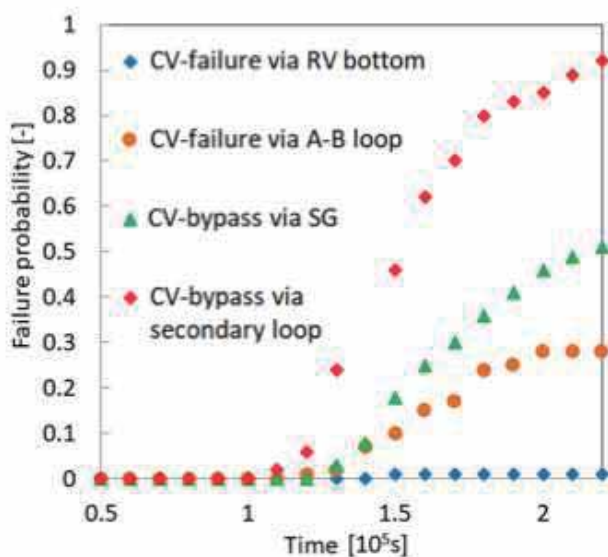
冷却材バウンダ
リ(一次、二次)

格納容器(CV)

27

放射性物質の放出シナリオ

除熱源喪失事故時の放射性物質放出確率



- 二次系からの漏えい(格納容器バイパス)シナリオが最も確からしい
- 原子炉容器破損を伴う格納容器破損(早期大規模漏えい)の確率は僅少

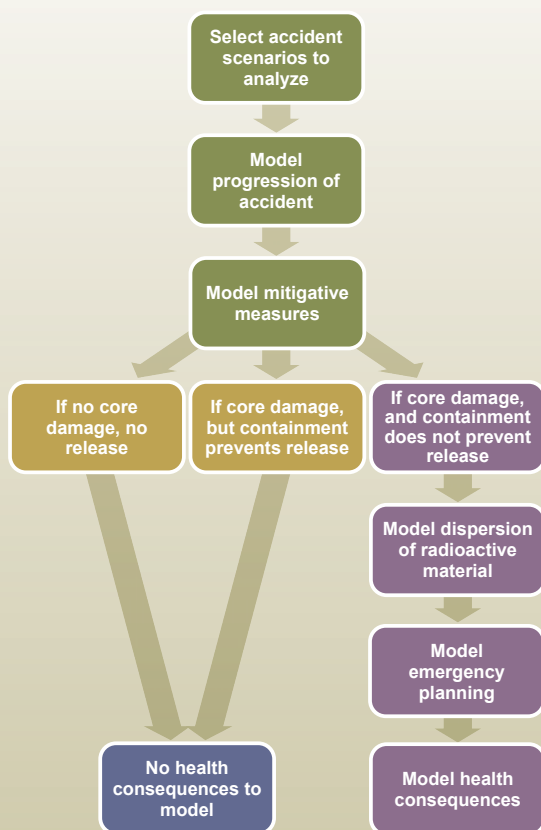
システムの脆弱性が、FP放出の観点から時間の関数として評価できる

28

よりよい防災のために

29

Modeling Potential Reactor Accident Consequences, NUREG/BR-0359, Dec. 2012



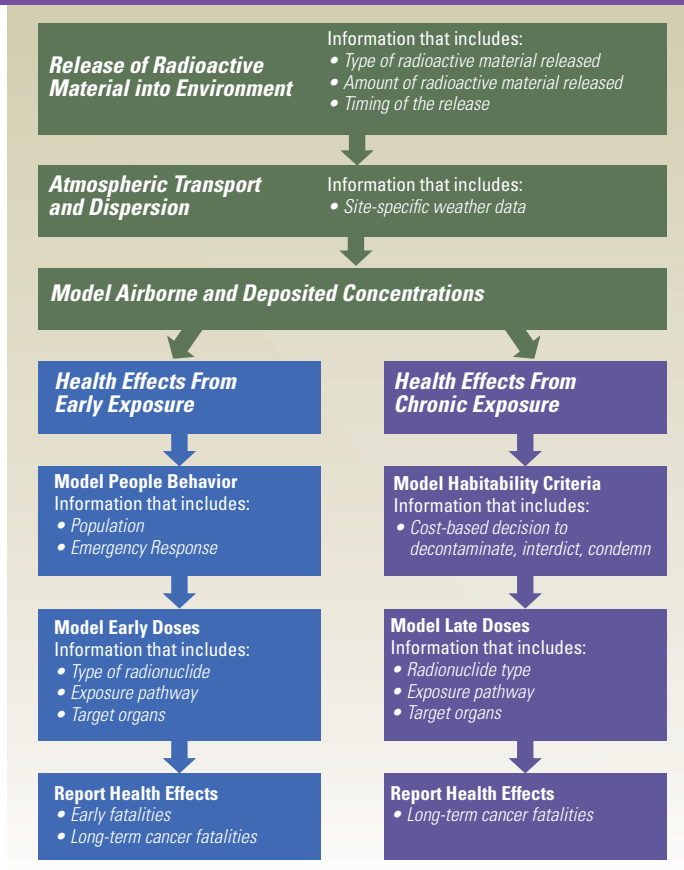
KEY RESULTS:

- When operators are successful in using available onsite equipment during the accidents analyzed in SOARCA, they can prevent the reactor from melting, or delay or reduce releases of radioactive material to the environment.
- SOARCA analyses indicate that all modeled accident scenarios, even if operators are unsuccessful in stopping the accident, progress more slowly and release much smaller amounts of radioactive material than calculated in earlier studies.
- As a result, public health consequences from severe nuclear power plant accidents modeled in SOARCA are smaller than previously calculated.
- The delayed releases calculated provide more time for emergency response actions such as evacuating or sheltering for affected populations. For the scenarios analyzed, SOARCA shows that emergency response programs, if implemented as planned and practiced, reduce the risk of public health consequences.
- Both mitigated (operator actions are successful) and unmitigated (operator actions are unsuccessful) cases of all modeled severe accident scenarios in SOARCA cause essentially no risk of death during or shortly after the accident.
- SOARCA's calculated longer term cancer fatality risks for the accident scenarios analyzed are millions of times lower than the general U.S. cancer fatality risk.



30

SOARCAで健康影響のモデルで考慮される情報



炉心損傷シミュレーション
放射性物質移行・放出シミュレーション

大気中輸送・拡散シミュレーション

エアロゾル浮遊・沈着シミュレーション

急性被ばくによる健康影響
(急性放射線障害)

慢性被ばくによる健康影響
(晩発性がん)

State-of-the-Art Reactor Consequence Analyses (SOARCA), NUREG-1935, Nov. 2016

31

避難者のグルーピング

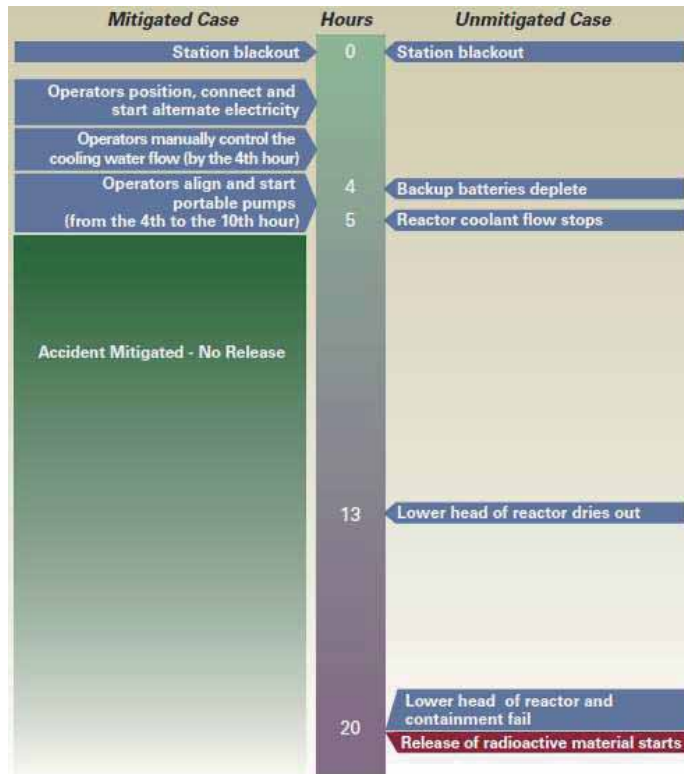
グループ	説明
学校	10マイル以内の小学校、中学校、高校の生徒
一般公衆	10マイル以内に居住する避難命令に従って避難する住民
特殊施設	10マイル以内に居住する特殊な介護が必要な人々で次のような方：入院患者、自宅療養者、介護施設居住者、刑務所
避難拒否者	10マイル以内に居住し、避難を拒否する人々（人口の0.5%と仮定する）
シャドウ（自主的避難者）	公式な避難命令によらずに、避難する人々で、大規模な避難命令が出されると自主避難を開始する
	10マイルEPZから遅れて最後に避難する10パーセントの人々

State-of-the-Art Reactor Consequence Analyses (SOARCA), NUREG-1935, Nov. 2016

32

事故のタイムラインー安全対策の効果

State-of-the-Art Reactor Consequence Analyses (SOARCA), NUREG-1935, Nov. 2016



加圧水型原子力発電所 (PWR) 事故進展

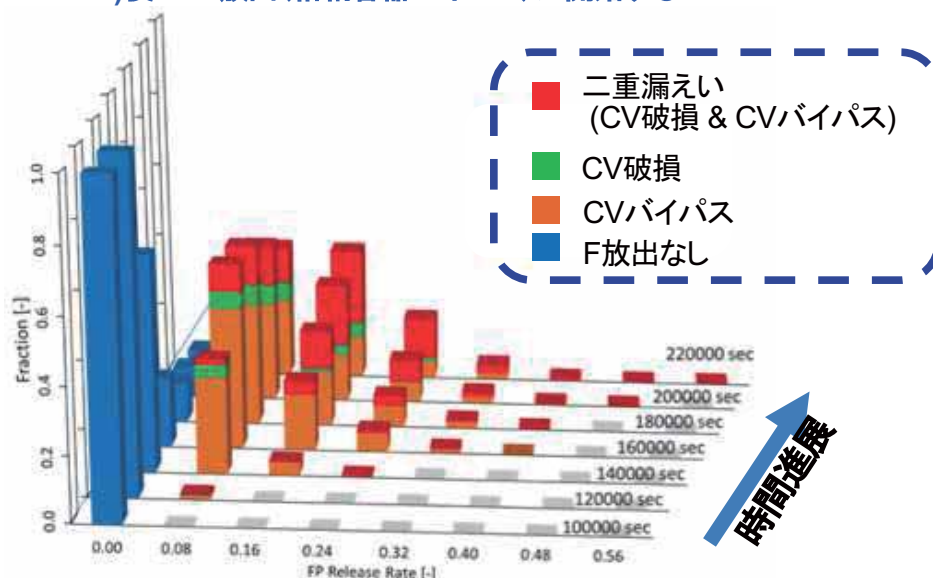
起因事象：
全電源喪失時の事故進展

- ◆ 事故影響緩和措置はなければ20時間で放射性物質の放出が開始
- ◆ 事故影響緩和措置を行えば、5時間程度で可搬ポンプを用いて冷却を開始。放射性物質の放出はない

33

放射性物質の放出シナリオ

- ・ 格納容器バイパスシナリオ: 早期、小～中規模漏えい
- ・ 格納容器破損シナリオ: 後期、中～大規模
- ・ 1.4E+05sec(39hours)後にFP放出(格納容器バイパス)が開始する



- ・ 原子力防災において、FP放出量、時機、シナリオは重要な情報である
 - ・ 避難余裕時間、効果的な放出抑制対策
- ・ レベル3PRAの入力情報となる

34

リスクトリプレット（リスクの3要素）

- 事故はどのように進展するのか？（シナリオ）
 - What can go wrong?
- そのシナリオの起こりやすさは？（発生頻度）
 - How likely is it?
- その被害や影響度はどの程度か？（影響度）
 - What are the consequences?

“安全である”とは、どのように表現されるのか

35

まとめ

- リスク評価を活用することは容易ではない
 - リスク評価は問題を解決してくれるものではない
 - リスク評価はよりよい選択、リスクの管理のため
- リスクを知れば、よりよい決定ができる
 - リスクトリプレットに答えることがリスクを知ること
 - 知識を持っていないと、行動を躊躇する
- より良い防災のためにリスク評価を活用し、リスクを知ること
 - 動的でシームレスなリスク評価
 - Computational PRA

36

防災へのシミュレーションの活用

有川太郎
中央大学

Nonlinear Long wave equations

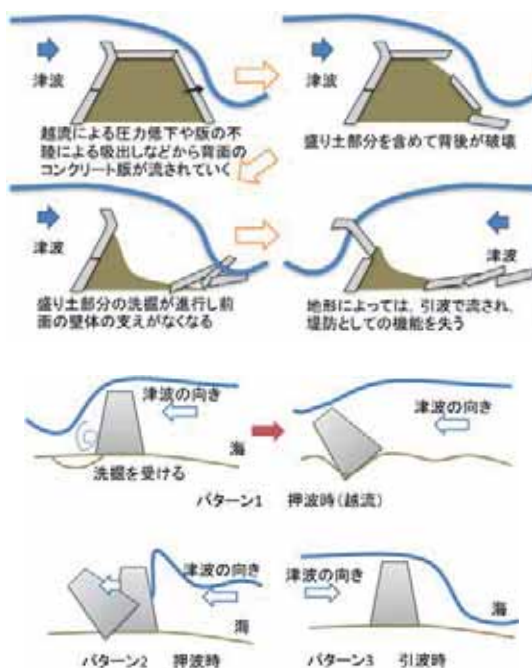
Three dimensional NS equations with continuity surface model

Three dimensional NS equations with VOF model

Three dimensional two phase NS equations with VOF model

Structure and geo analysis by FEM or DEM

堤防（海岸堤防）（傾斜堤・胸壁）



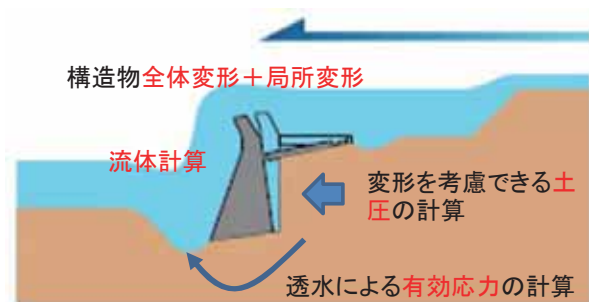
傾斜堤



胸壁



計算方法

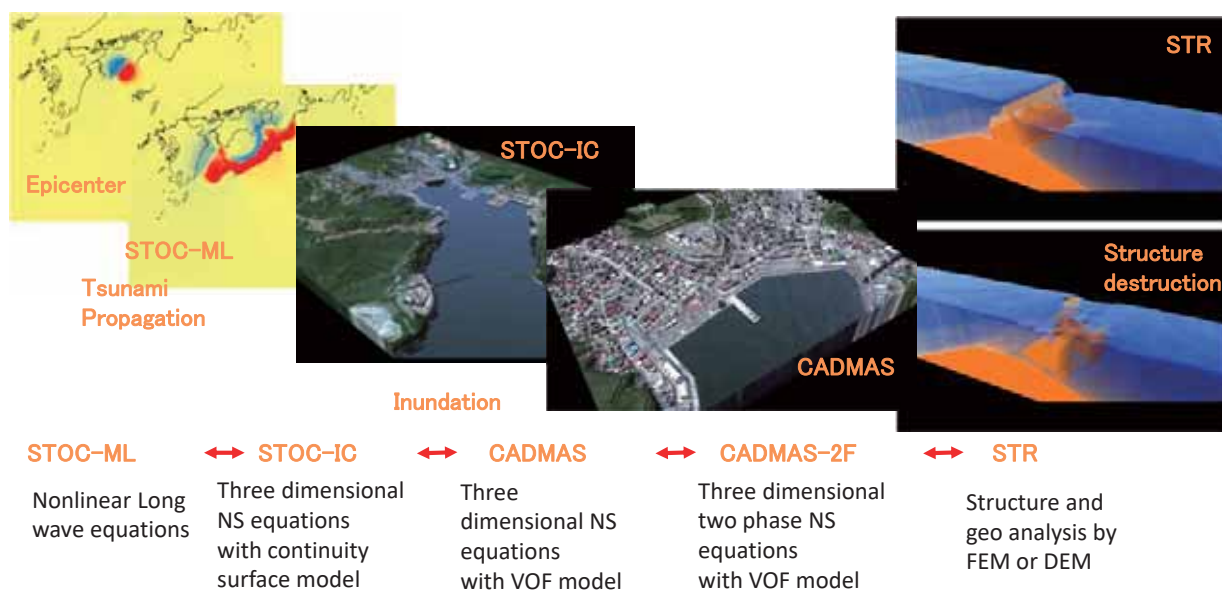


流体計算
(格子系もしくは粒子系)
+DEM
+FEM
という計算手法の開発が望ましい

	メリット	デメリット
格子系	保存性が高く、格子の大きさの変化に対してロバスト性が高い	流体塊の突入など変形が大きすぎるものに対する許容性が低い
粒子系	流体塊の突入など変形に対する許容性が高い	格子の大きさの変化に対するロバスト性が低い

・後藤・鈴木・五十里・有川・Khayyer・鶴田:高精度粒子法を用いた高機能型数値波動水槽の開発、海岸工学論文集、2017

Multiscale and Multiphysics Tsunami Simulator



開発の歴史

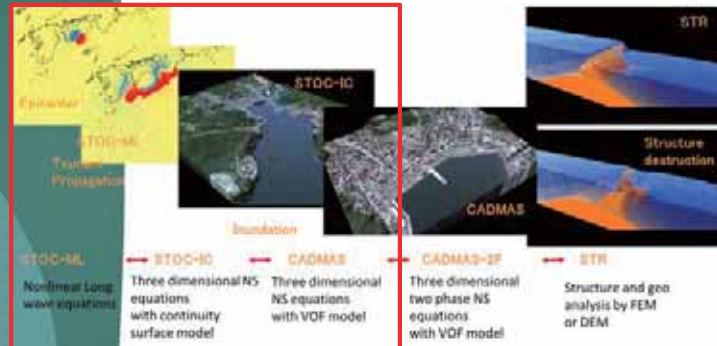
開発開始/ 論文等公開



	STOC-ML	STOC-IC	CADMAS-SURF/3D	CADMAS-2F	STR
1998			2次元版開発開始		
2001			2次元版コード公開		
2003			3次元版開発開始		
2005	富田・柿沼、港空研報告 (STOC)		有川ら、海講		
2009					有川ら、海講 (CS-3Dとの連成)
2010			3次元版コード公開		
2011				有川ら、海講 (DEMとの連成)	
2014	有川・富田、港空研報告 (STOC-CADMAS)				
2017	有川ら、海講 (地盤を含む)				

Multiscale analysis

COUPLED WITH WAVE PROPAGATION SIMULATION



The STOC-CADMAS system

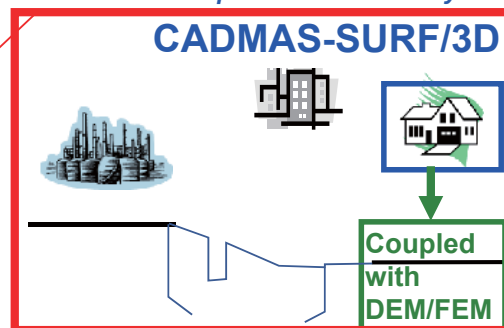
(Arikawa and Tomita, 2016)

Quasi-3D model (multi-level model)
Assumes hydrostatic pressures at each level
Computation load: light



STOC system (Tomita et. al., 2005)
 CADMAS system (Arikawa et. al., 2005)

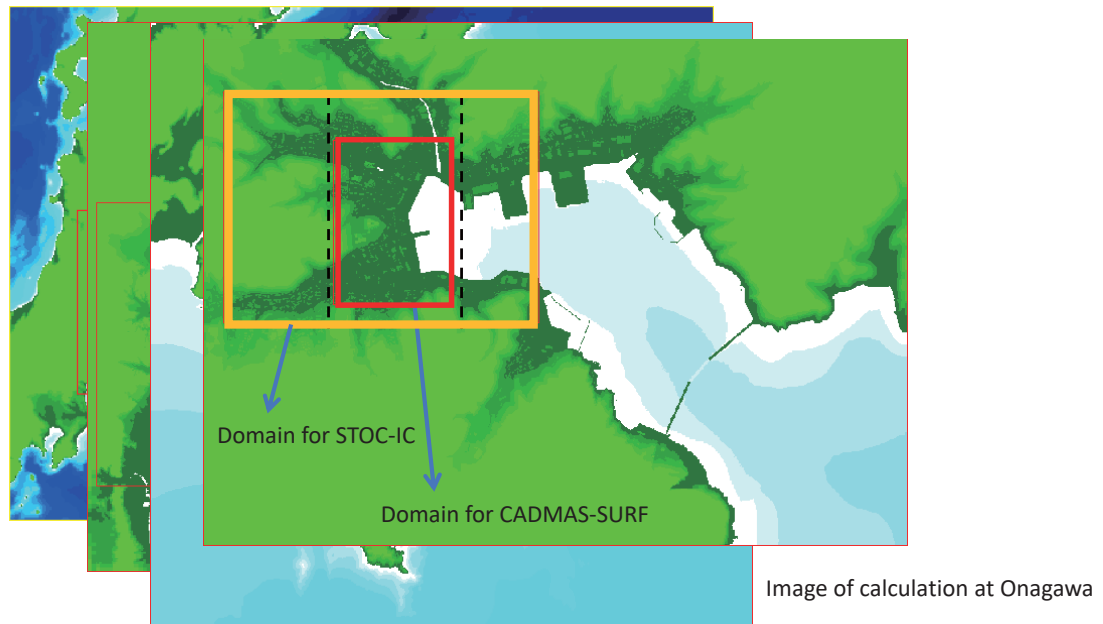
3D model Estimates the free water surface with the VOF method
Computation load: heavy



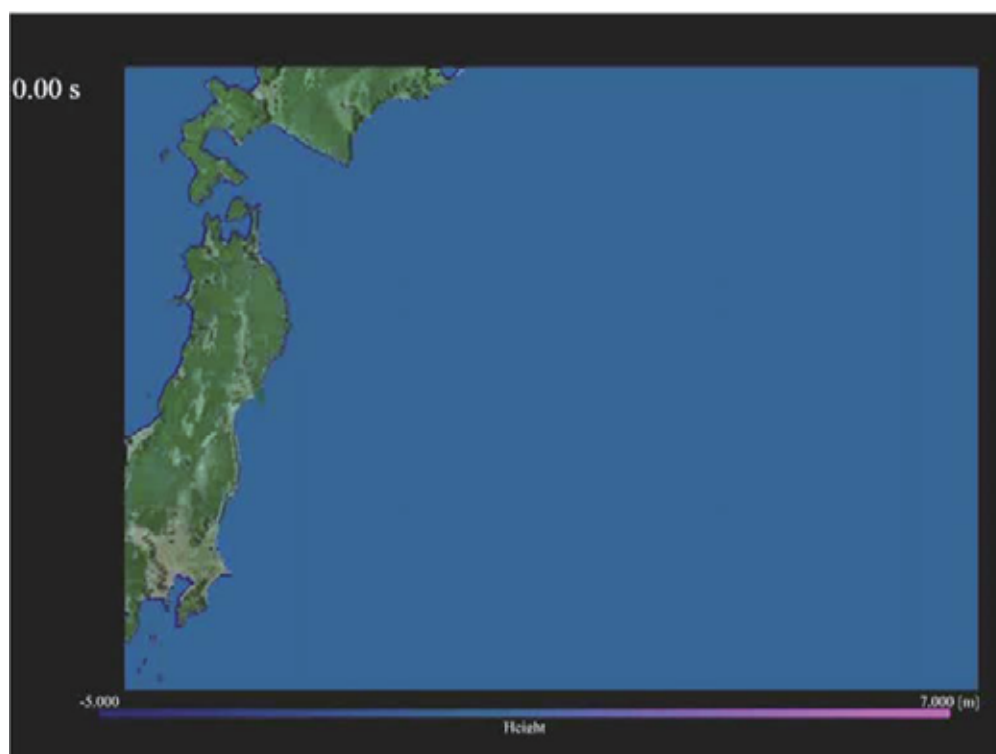
STOC-IC

3D model Calculates the free water surface with a vertically integrated continuity equation
Computation load: moderate

Verification of Accuracy of the system



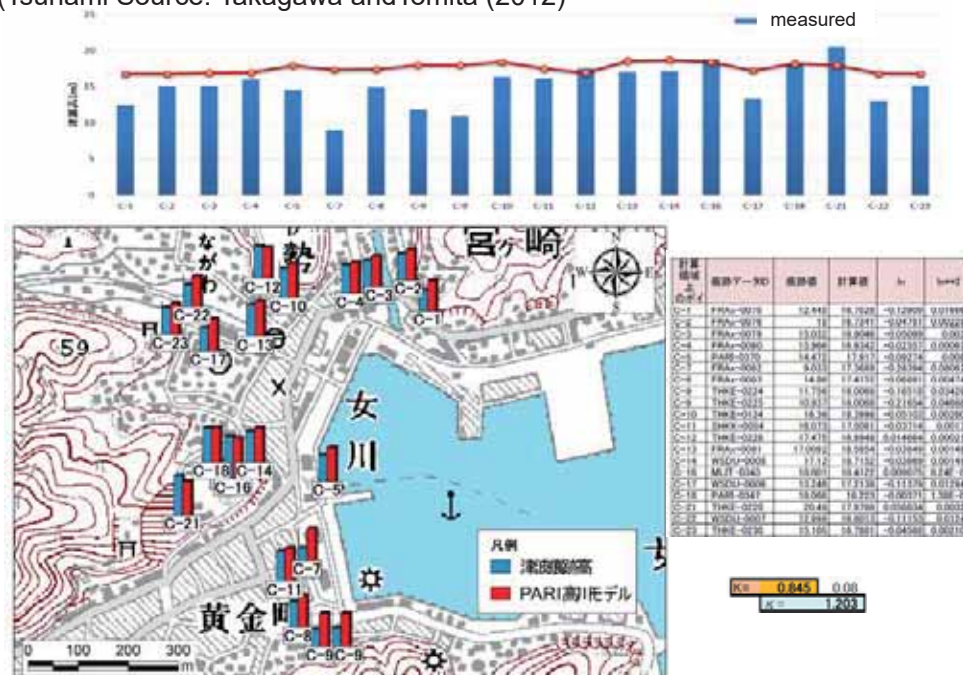
Domain 01, ML



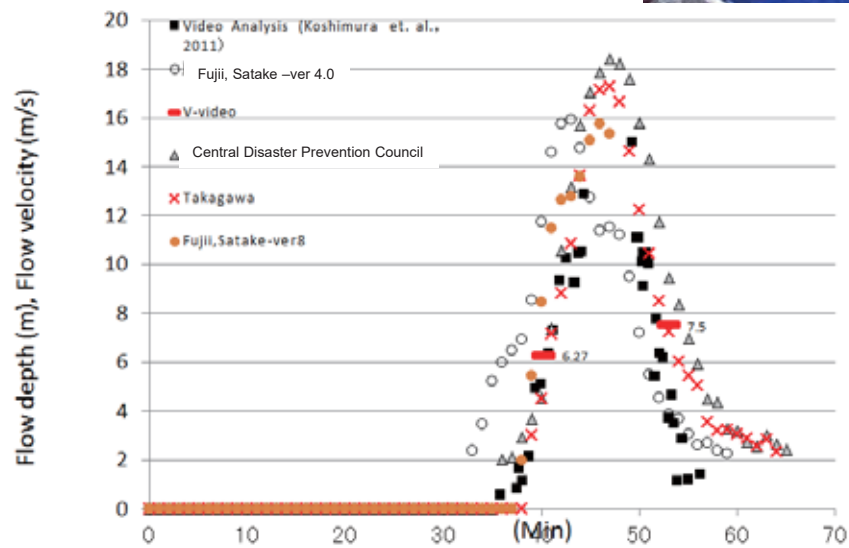
Domain 08, CADMAS-SURF/3D



Comparison of Maximum Inundation height
(Tsunami Source: Takagawa and Tomita (2012))

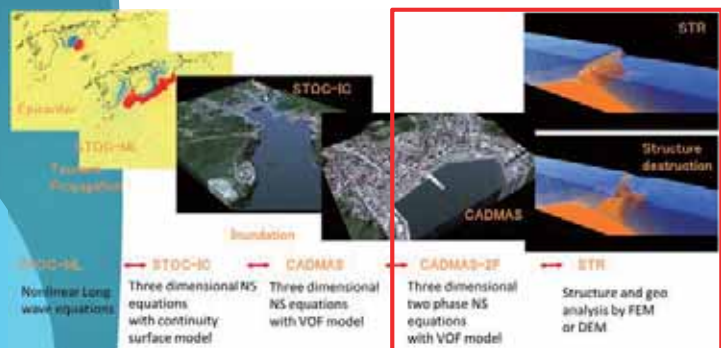


Comparison of Flow depth

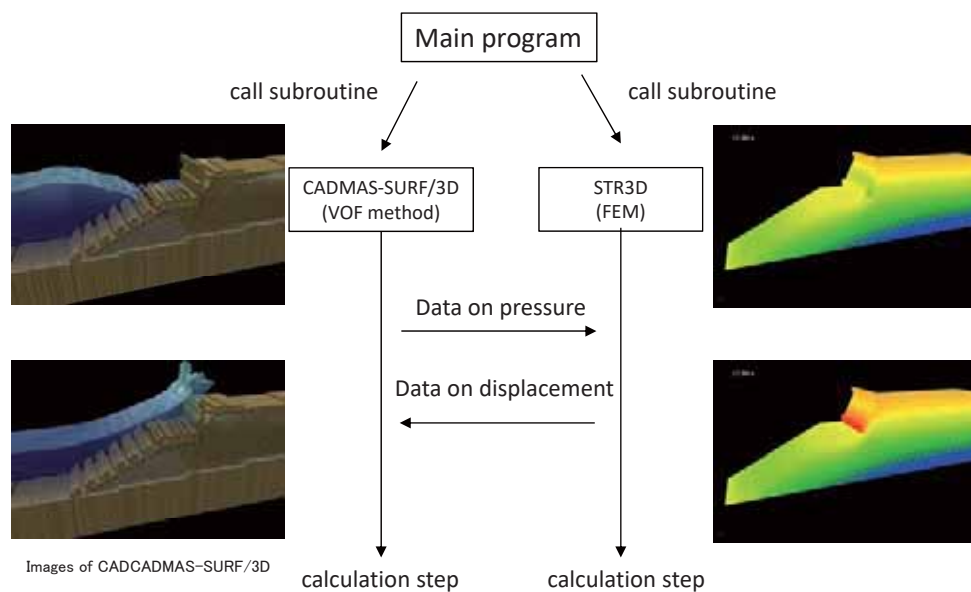


Multiphysics Simulation

COUPLED WITH STRUCTURE ANALYSIS



Outline of CADMAS-SURF/3D-STR



15

Breakwaters

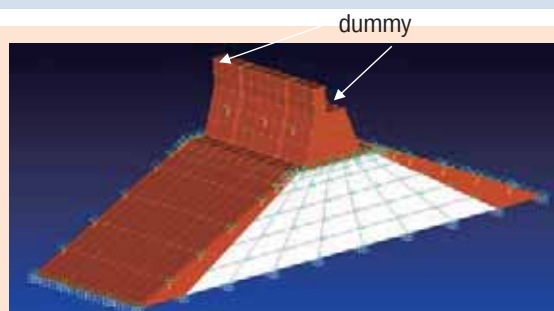
Numerical Conditions

CADMAS $dx=dy=dz=0.10\text{ m}$

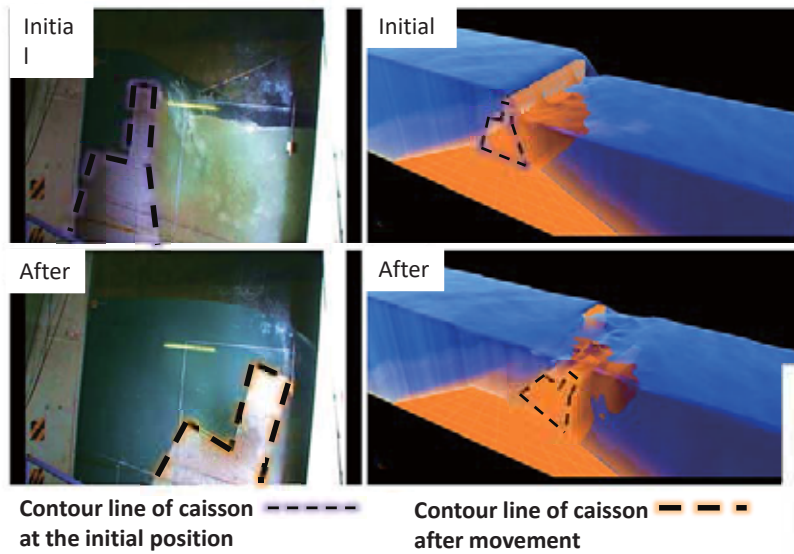


STR

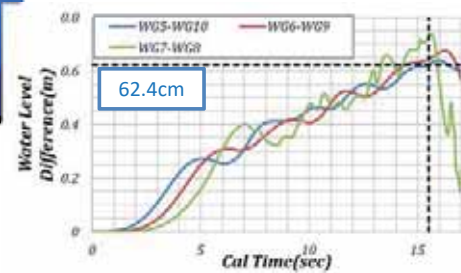
Young's modulus : $2.35e11$
 Poisson's ratio : 0.333
 Density
 test body : 2135
 dummy caisson : 2349
 Coefficient of friction
 static : 0.6
 dynamic : 0.2



16

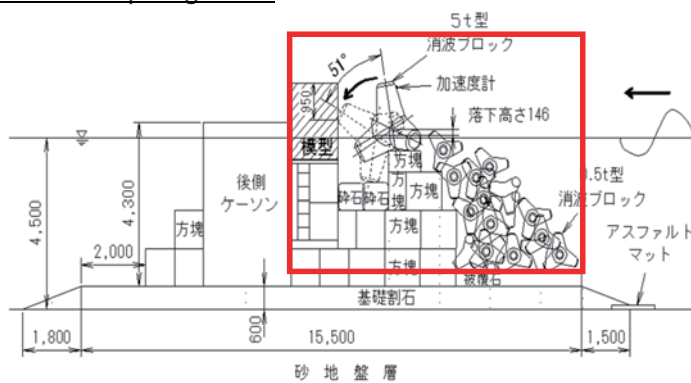


The result of the Water Level Difference of the physical experiment is 60.8cm

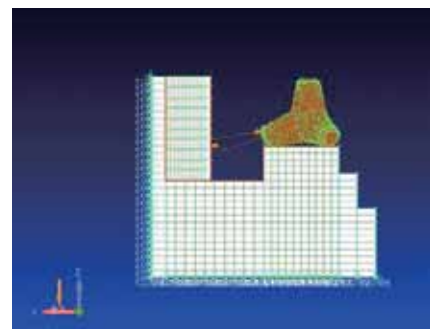


Target experiments

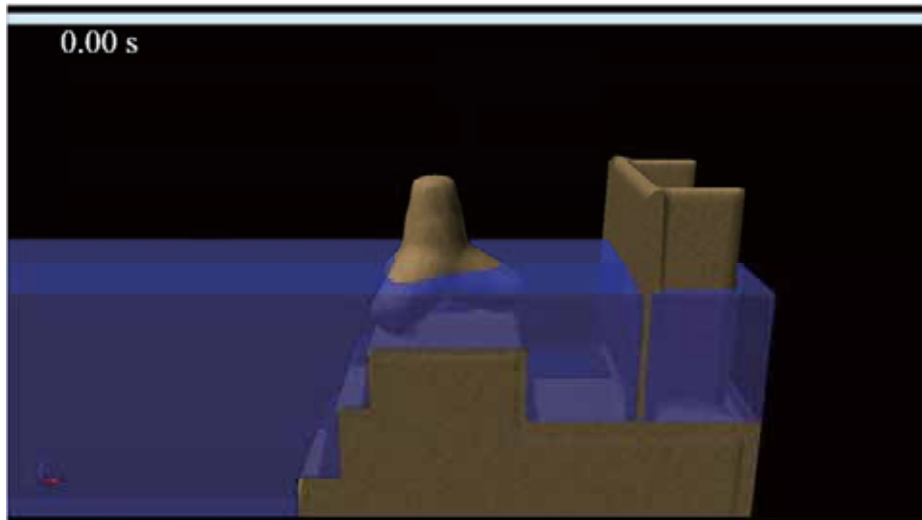
Arikawa et. al,(2004) : Study on punching shear failures of caisson wall caused by Impulsive force of dissipating blocks



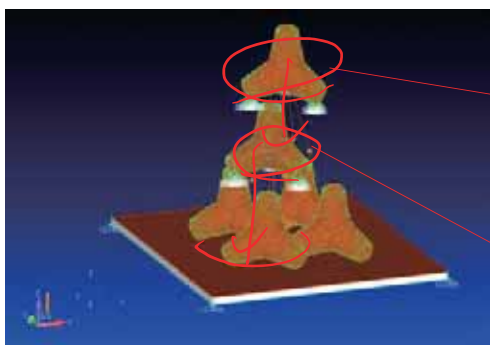
A calculated cross section was created in the area surrounded by the red line in the left figure



Results (Grid size 10cm)

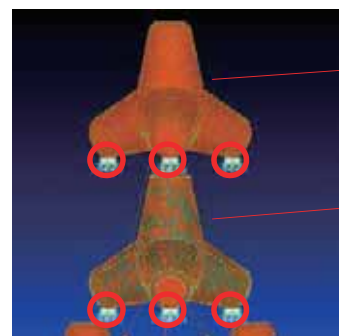


Wave Dissipating Blocks



The
third
row

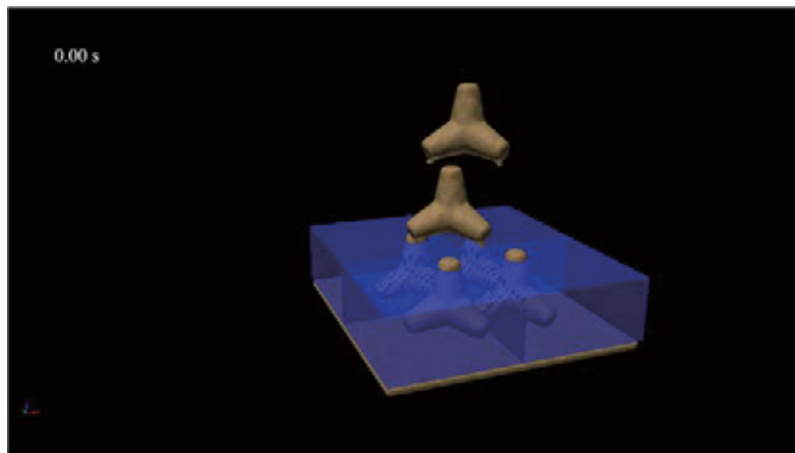
The
second
row



The
third
row

The
second
row

Animation



0.00[s]

Case1



Case2



Case3



1mm



2.5mm



5mm

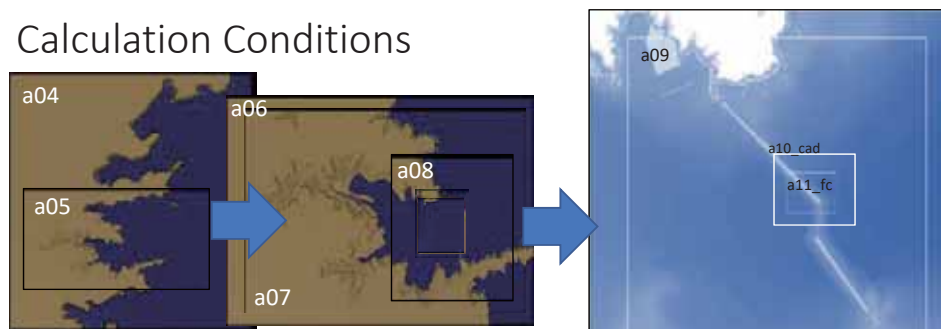


Multiscale Multiphysics Simulation

INTEGRATED ANALYSIS

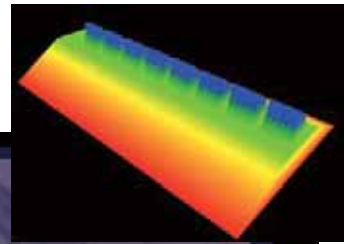
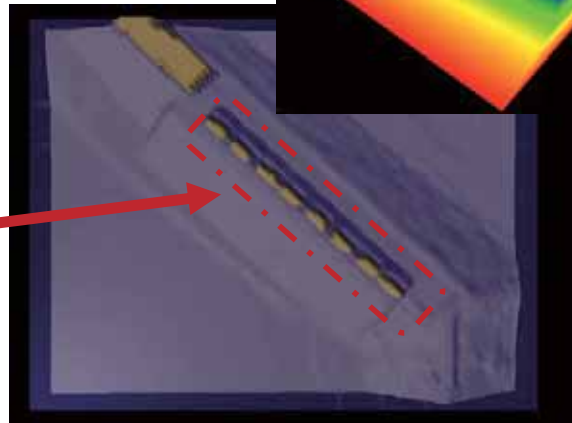
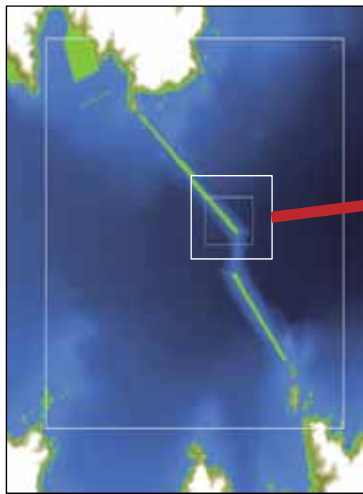


Calculation Conditions



Domain Name	solver	Grid size	N. of G. in x	N. of G. in y	N. of G. in z	Total number of grids
a04	STOC-ML	200m	108	141	1	15228
a05		100m	166	110	1	18260
a06		50m	240	150	1	36000
a07		10m	1110	690	1	765900
a08		10m	410	500	1	205000
a09	STOC-IC	10m	194	228	1	44232
a10_cad	CS-MG	10m	73	60	52	227760
a11_fc	2FC	5m	114	88	52	521664
STR	STR					

Arrangement of structures in STR

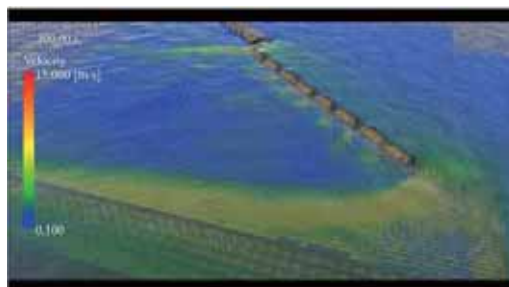


Caissons at the head of the northern part were placed as an STR structures.

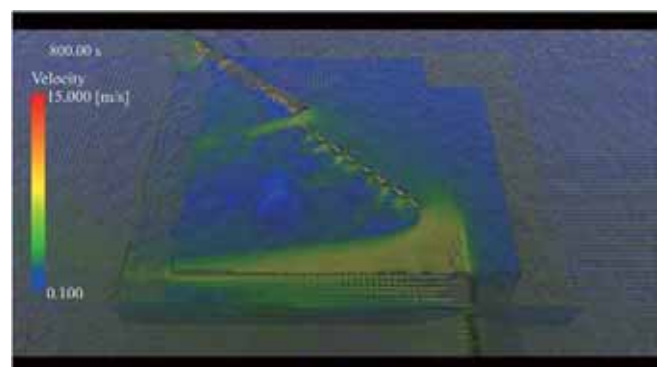
Since the grid size was coarse, the gap could not be reproduced and the caissons were placed to some extent

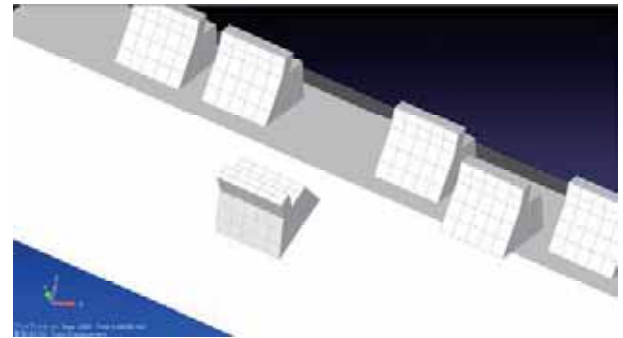
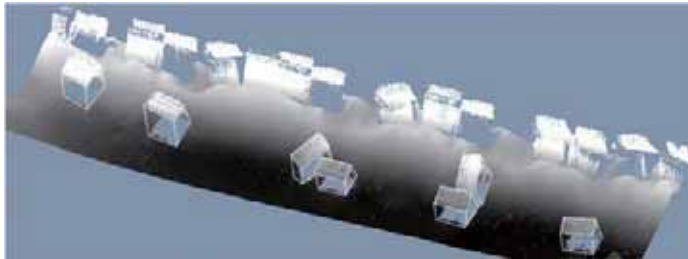
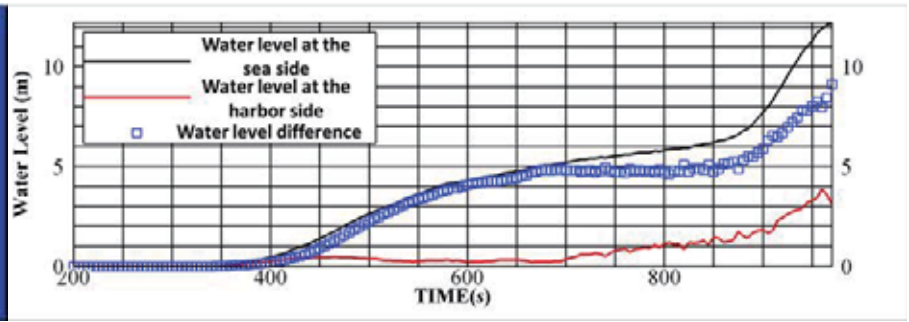


Enlarged view near breakwaters



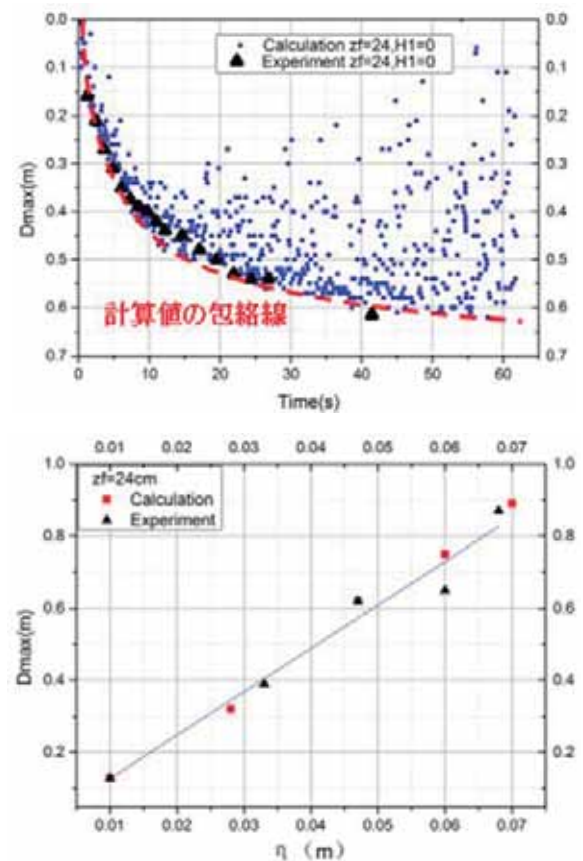
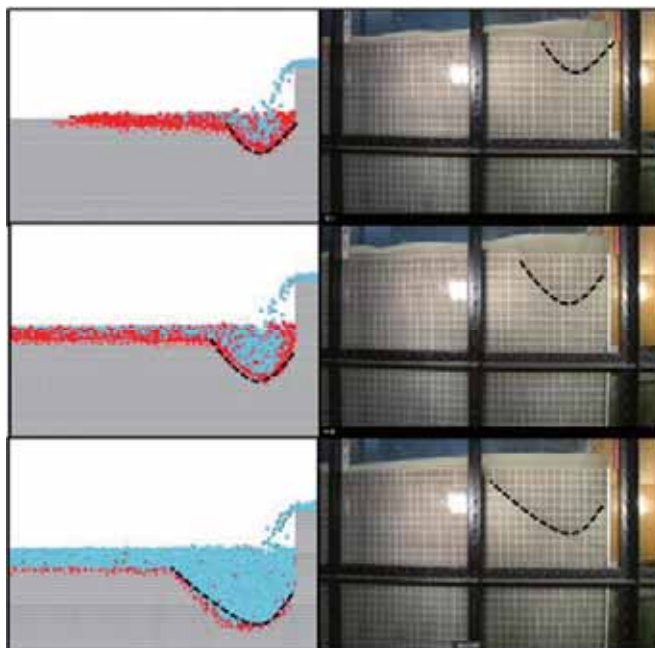
Velocity Field





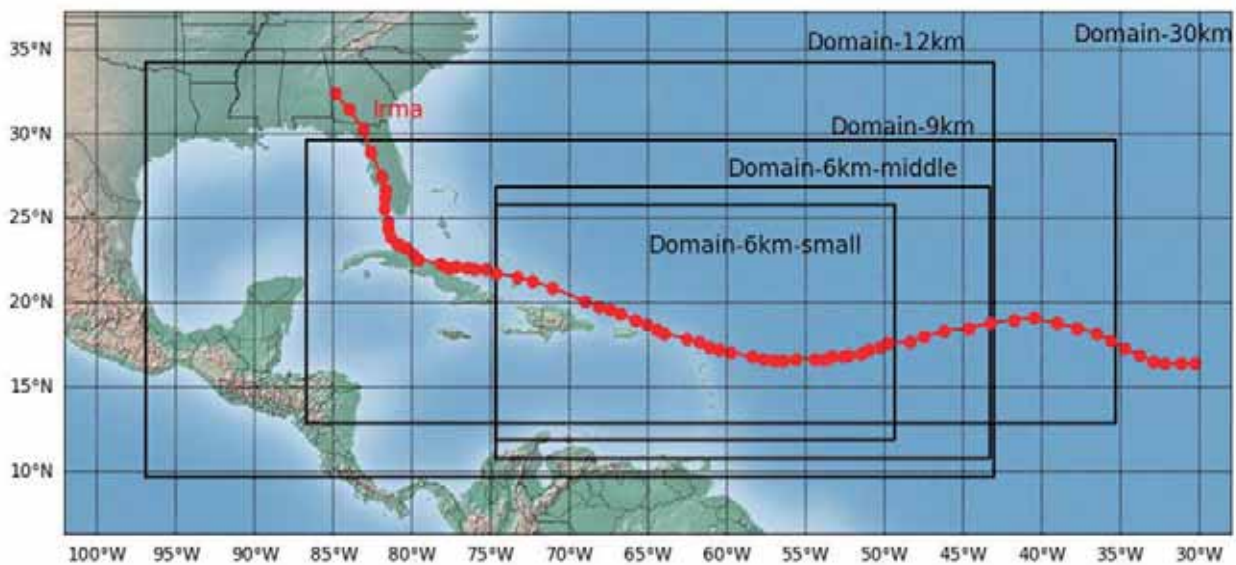
Breakwaters distributions of Northern part of deep region at Kamaishi Bay After 2011 tsunamis

洗掘問題と粒子法



高潮計算

モデル格子サイズ, 領域サイズによる検討



流れ(大領域Domain01)

30km → 12km → 計算期間の増加 → 気象データの変更(ds083.2 → ds083.3) → 6kmで検討

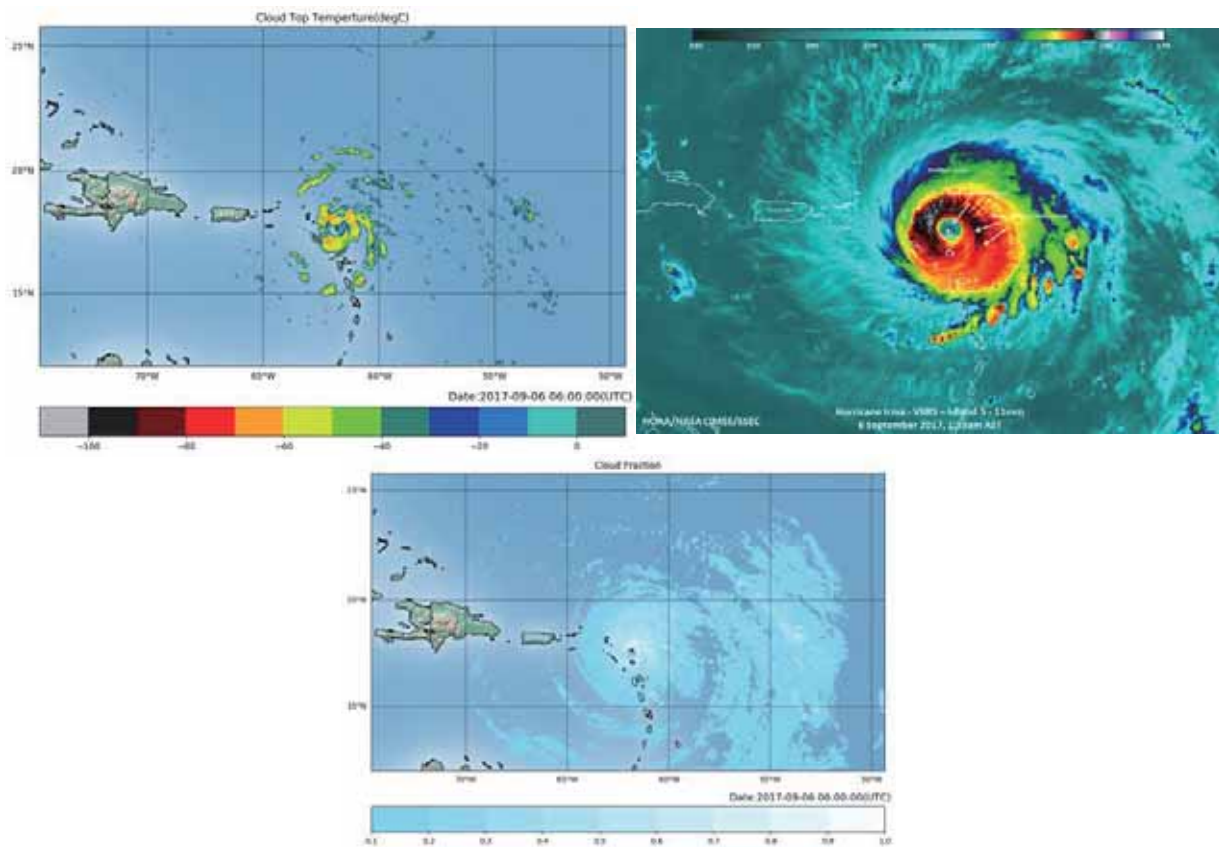
- ・助走期間を多くとっても差はあまりない
- ・データの粗さより、計算領域、格子数の方が気象場の再現精度に影響を与える
- ・今回の計算では6kmの領域でもハリケーンの強度発達はあまり再現出来ていない

結果一例(d01, 12km)

ベストトラックと再解析した経路比較

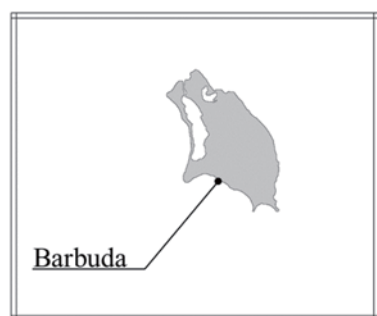


雲量, 頂点温度に関して(cu_physics = 14)

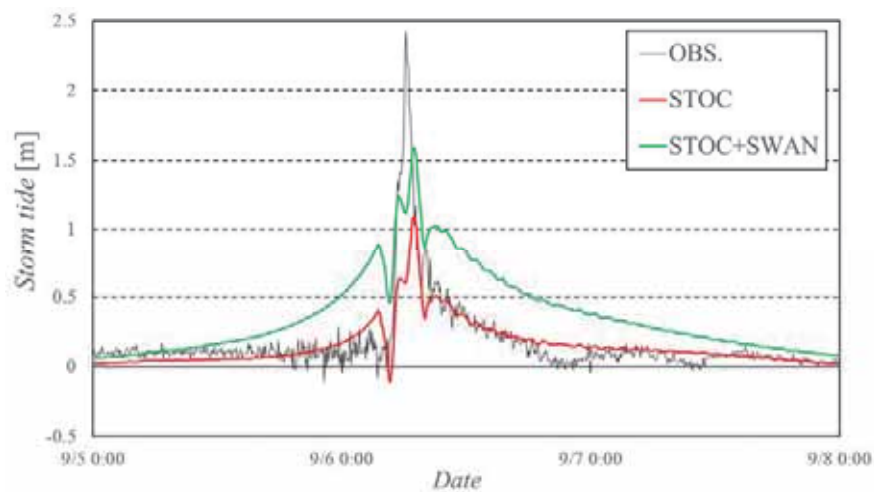


○高潮波浪推算結果

(吸い上げ+吹き寄せ+wave setup) 計算結果



気象官署地点



潮位比較

※有義波高推算値からwave setupによる海面上昇量算出経験式

$$\eta_B = cH_{1/3} \quad c = 0.1$$

避難に対する取
り組み

Achievement of Resilient Society to Natural Disaster

(Example of Society 5.0)

Improve resilient society system for protection of life, property and industry and aim for the safe and reliable society

- Develop the resilient infrastructures to improve the prevention capability and develop the real-time disaster information sharing system to reduce damages, which connect the response capability with the prevention capability and usage of the prediction capability for understanding the actual state of disasters.

Outline of the system

Improve the seismic resistant capacity and Recognize the danger of the structure in advance



E-Defense
Full-scale three-dimensional vibration destruction experimental facility

Prevention Capability

Prediction Capability

Acquire disaster information more rapidly with higher precision. Earthquake, tsunami, heavy rain, tornado, volcano and fire

Real-time Disaster Information Sharing system (Cabinet Office, Government of Japan)

Regional Alliance Disaster Response System

Support of disaster response and decision making of Local community, corporations, citizens.

- Sharing the real-time disaster information
- Information dissemination technique under disasters
- Application for the local community
- Robotics

Response Capability

Inundation Conditions

State of damage of infrastructures

Coupling with Evacuation Simulation

Coupling STOC, CADMAS-SURF and PARI-AGENT



STOC

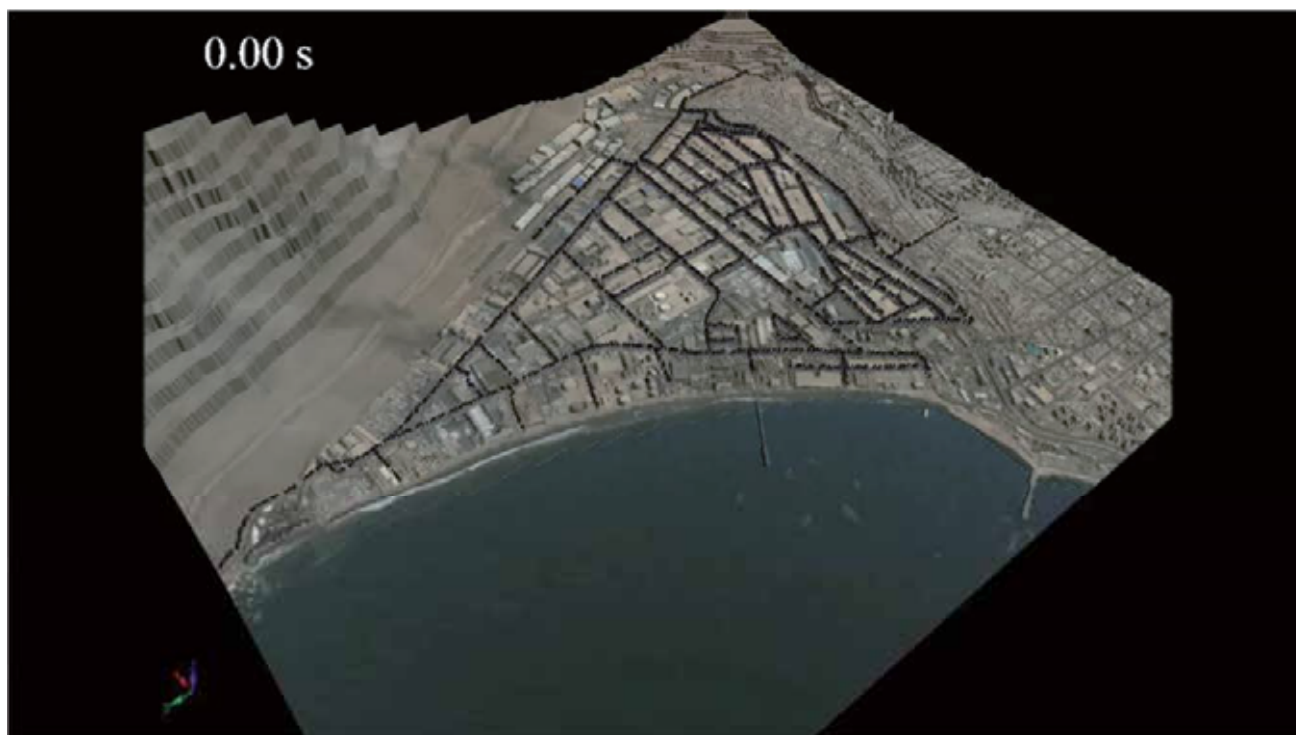
Arikawa and Tomita (2015)



CADMAS-SURF



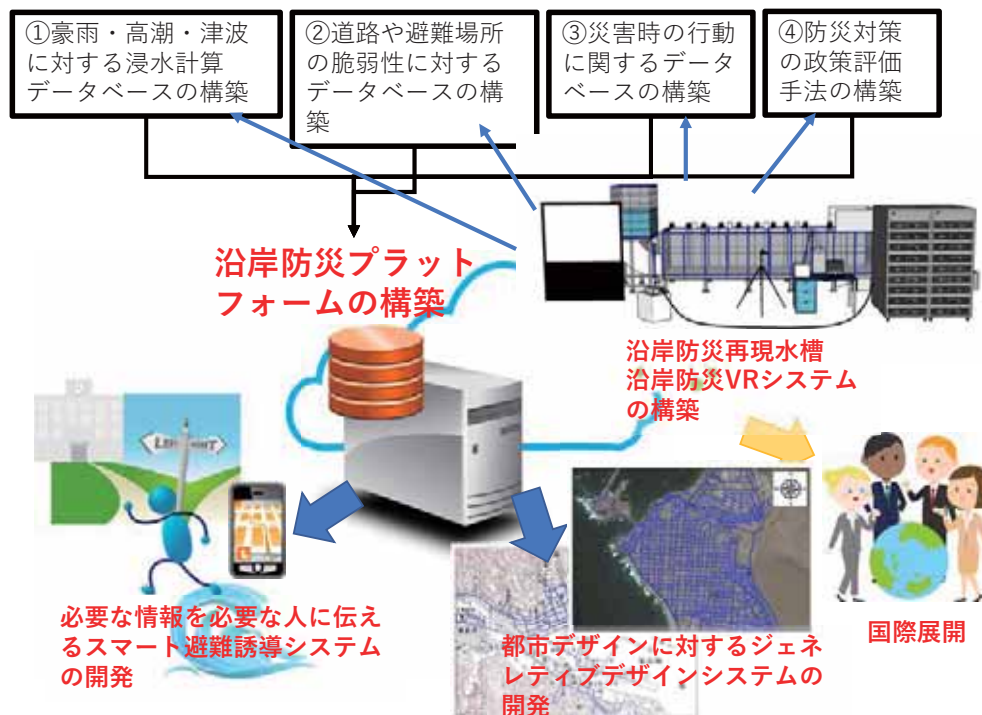
PARI-AGENT



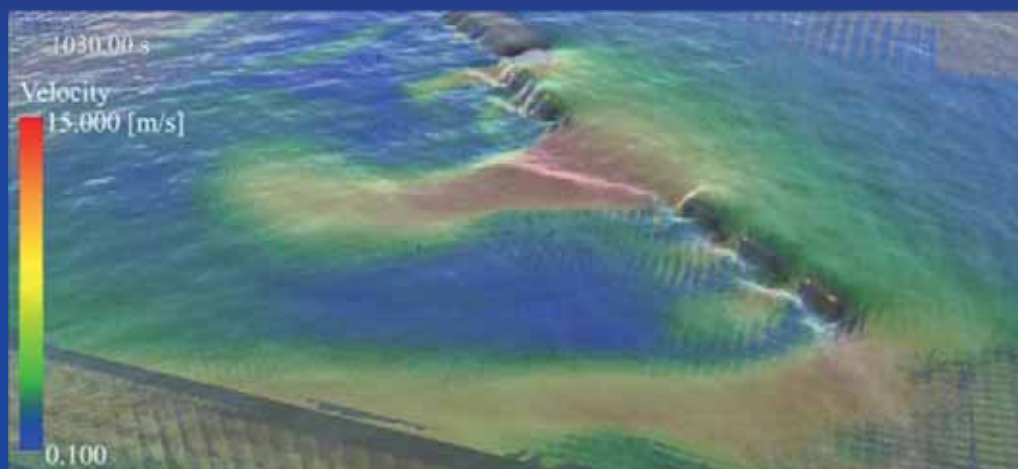
37

超スマート社会の実現に向けた沿岸都市
における防災プラットフォームの開発

災害適応科学プラットフォーム開発プロジェクト



ご清聴ありがとうございました



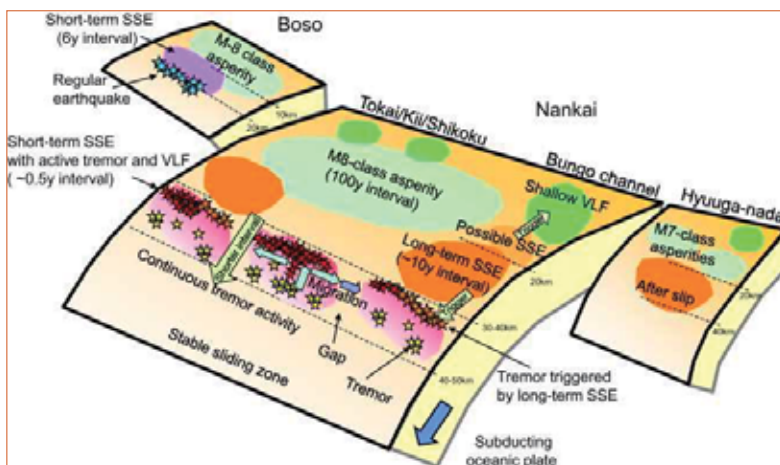
南海トラフ巨大地震の予測と防災

山岡耕春

名古屋大学大学院環境学研究科
地震火山研究センター

1

南海トラフの「すべり」に関する共通認識



Obara(2011) J. Geodynamics

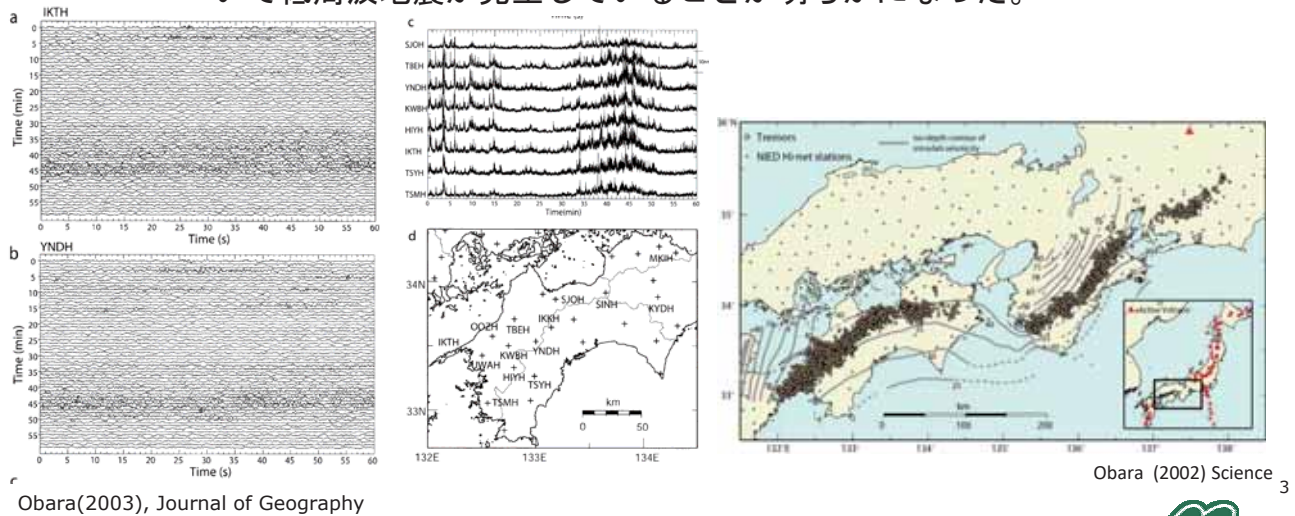
- ・ 浅部の超低周波地震発生域
- ・ 地震を起こす固着域
- ・ スロースリップ域
- ・ 深部低周波微動・地震を発生させるスロースリップ域

2



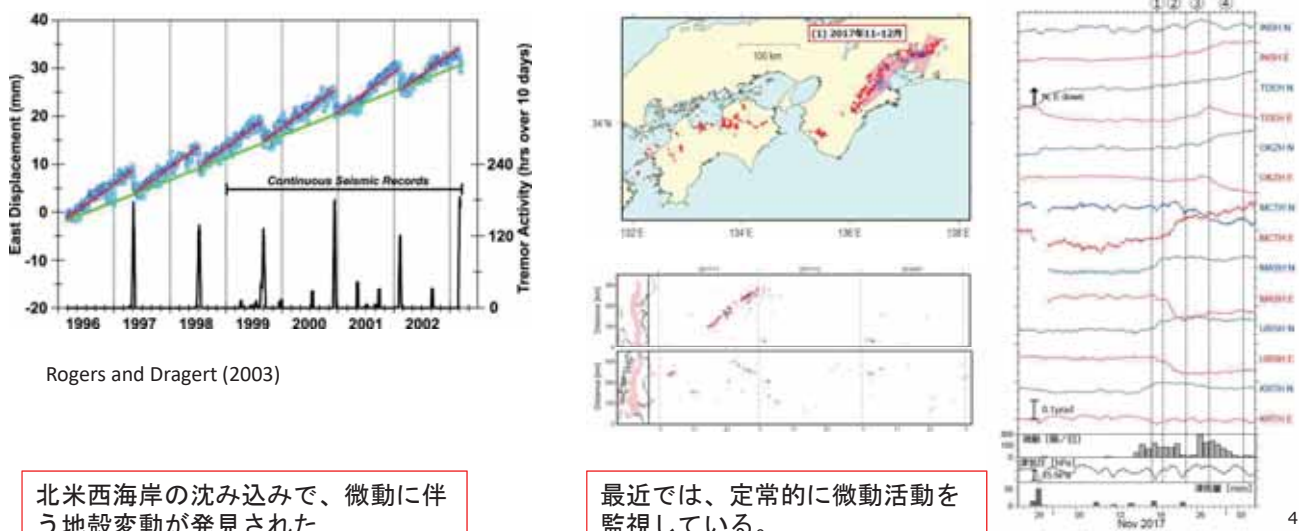
深部低周波微動・地震

21世紀の初め頃、Hi-netデータの解析によって、南海トラフ沿いで低周波地震が発生していることが明らかになった。



低周波地震・微動はスロースリップによって発生していることが明らかになった

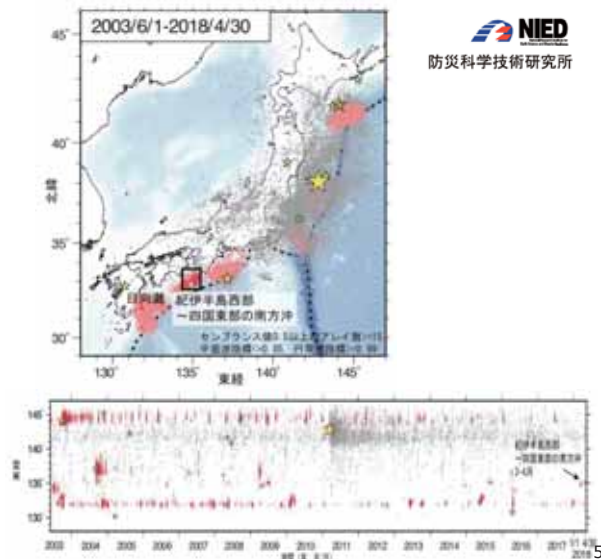
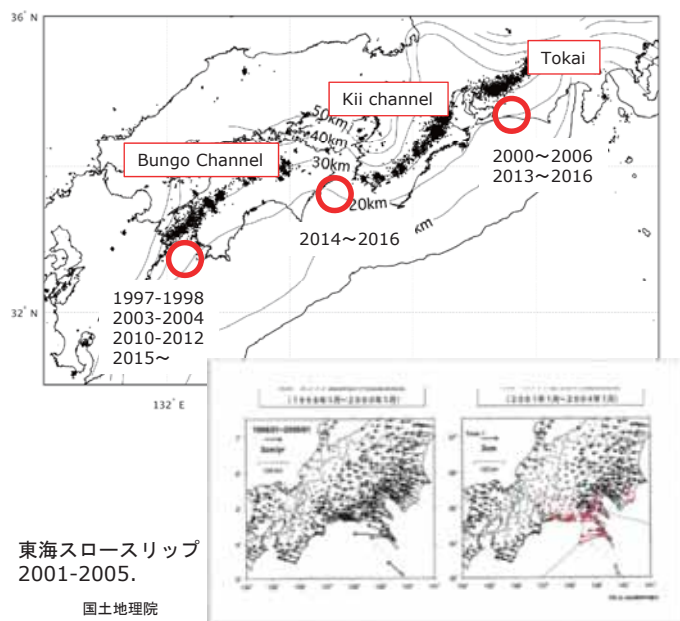
NIED



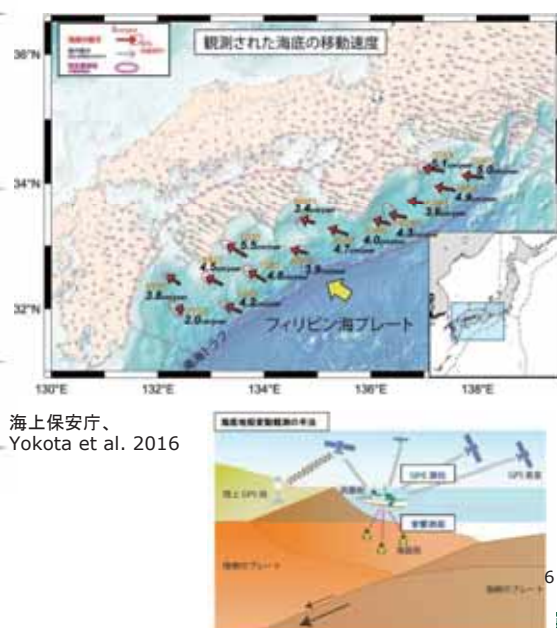
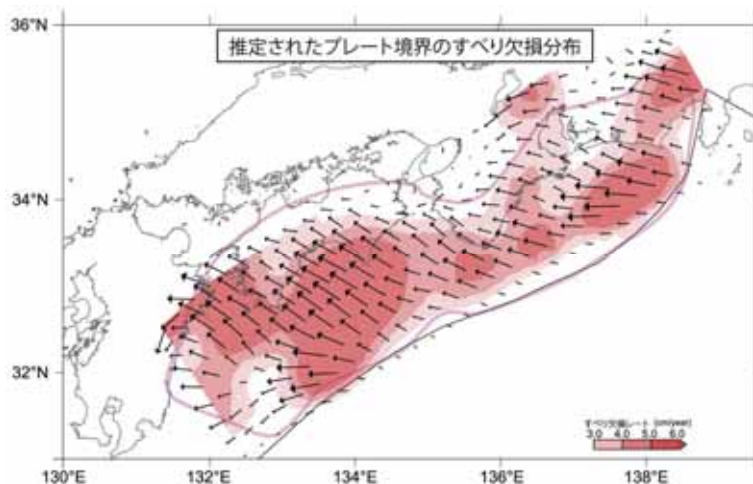
北米西海岸の沈み込みで、微動に伴う地殻変動が発見された



さまざまなスロースリップが定常定期的に監視されている



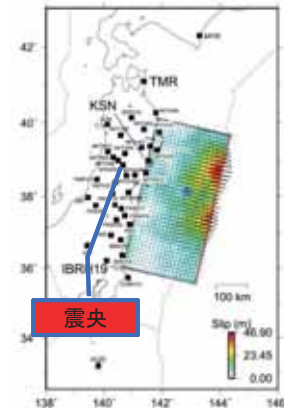
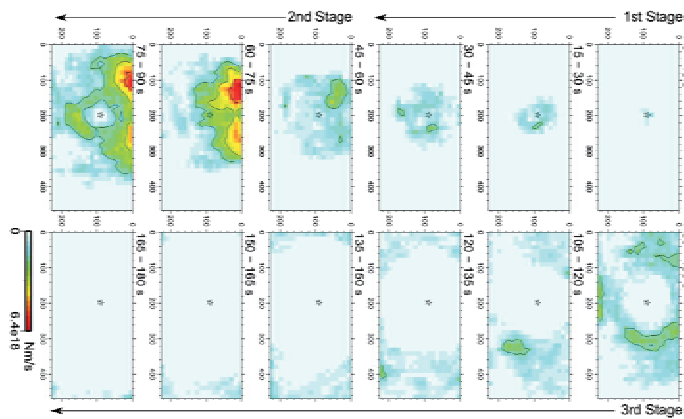
海底地殻変動の観測で固着の空間分布もわかってきた



海底における地殻変動観測を行い、プレート間の固着状態を初めて推定した。



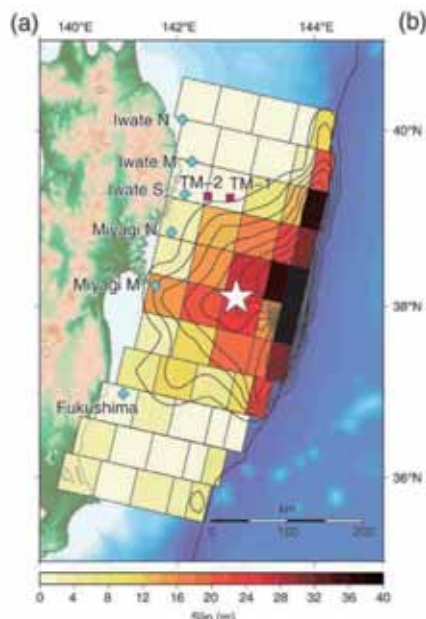
2011東北地方太平洋沖地震で改めて気づいたこと



地震波の解析から得た、滑りの時間発展 Yoshida et al. (2011) EPS.

海溝軸付近は大きく滑る ← 津波地震として知られていた
海溝軸付近が大きく滑ると巨大地震になる

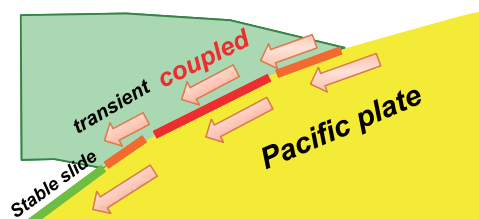
7



津波波形記録から推定したすべり量分布 (Satake et al. 2013)

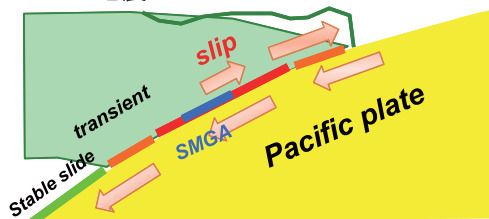
津波の解析から

普段の状態



2011 地震

隆起

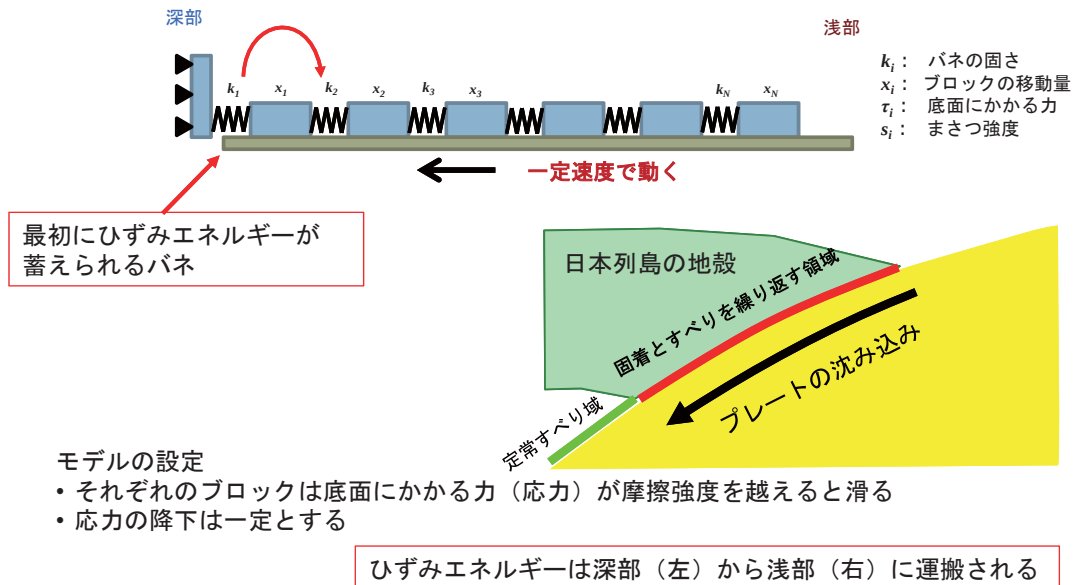


8



沈み込みプレート境界の固着と滑りの単純な思考実験 バネとブロック

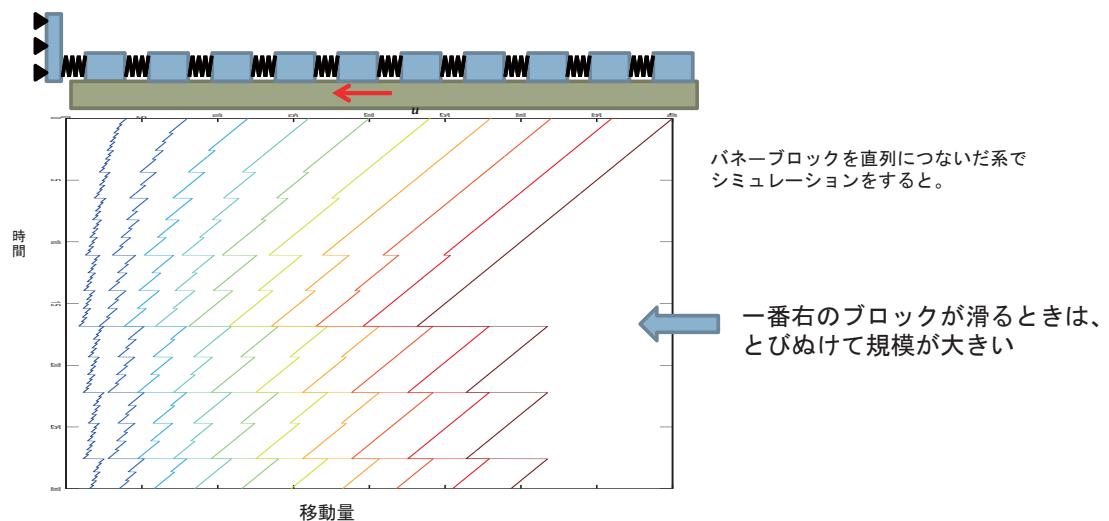
バネとブロック



9



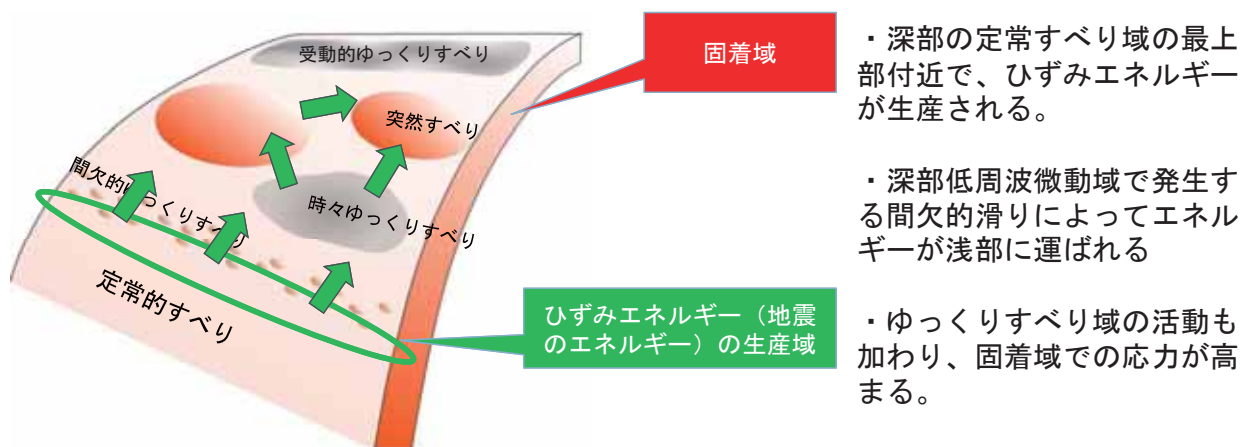
海溝軸沿いが大きく滑ることの意味



10



南海トラフプレート境界のすべり = ひずみエネルギーの運搬

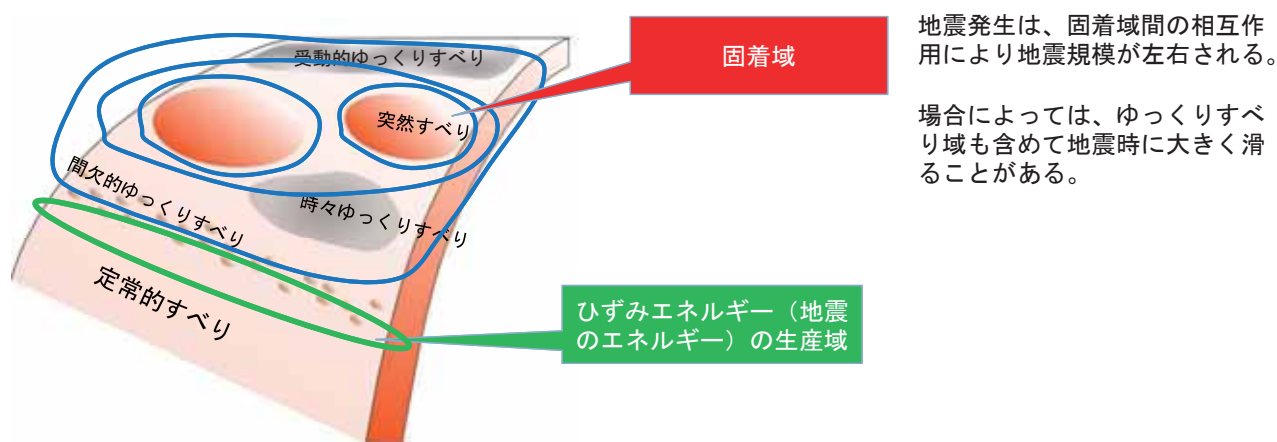


東海地震の予知は、【ある種の】ゆっくりすべり（＝スロースリップ）が巨大地震を誘発するという考えを根拠としている。

11



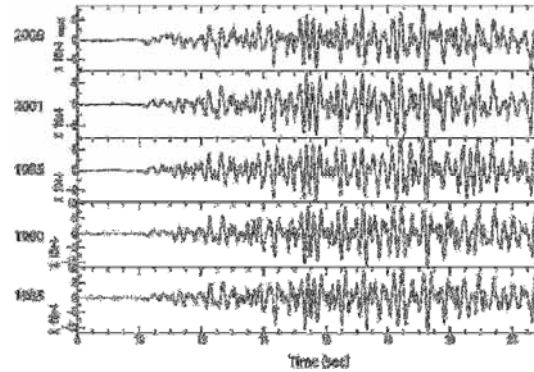
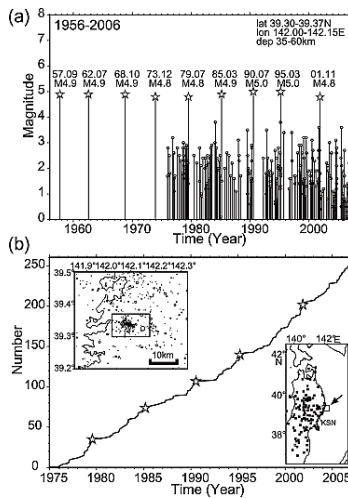
南海トラフ地震に関する知見の蓄積 — 地震発生の多様性



12



東北地方の日本海溝沿いでは？ 繰り返し地震(Repeating earthquake)を用いたモニタリング



繰り返し地震＝相似地震
非常によく似た波形を
もった一群の地震

- ・震源の位置が同じ
- ・地震のすべりが同じ

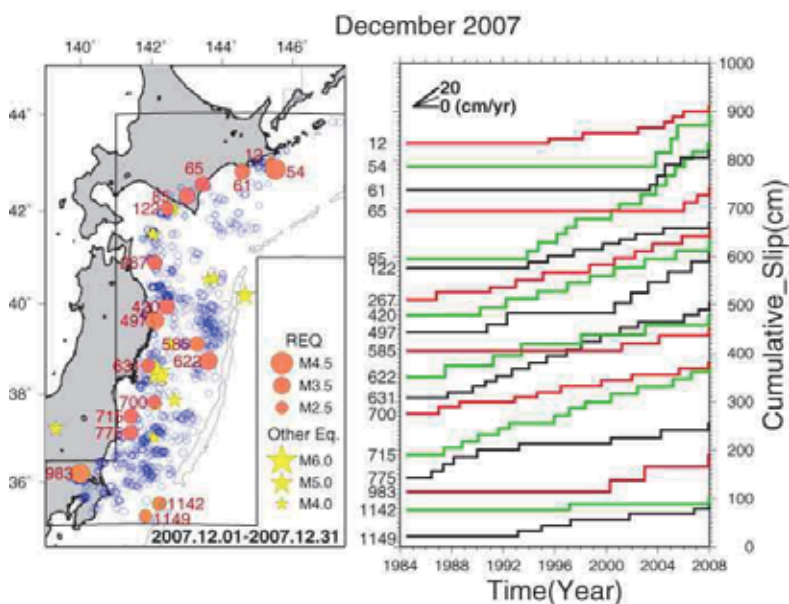
青葉山観測点（仙台：震央距離160km）の記録

Matsuzawa et al. (2002) Geophysical Res. Lett., vol.29, 10.1029/2001GL014632
Uchida et al. Geophysical Res. Lett., 34, 10.1029/2007GL031263

13



繰り返し地震を用いた固着・すべりモニタリング



$$M = sAG$$

M: moment
s: slip
A: area of asperity
G: shear modulus

相似地震でプレート境界のスリップ量
分布を推定している

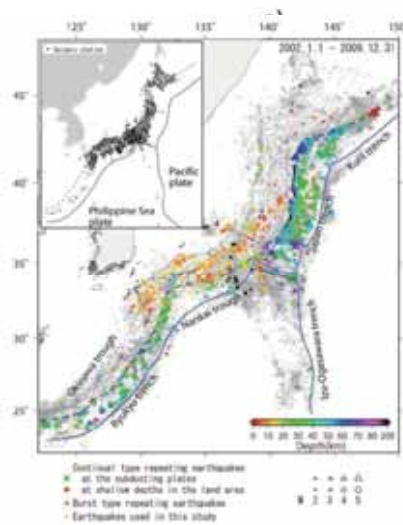
仮定：スロースリップ域に孤立したア
スぺリティ（地震を発生させる固着
域）が存在していること

<http://www.aob.geophys.tohoku.ac.jp/info/souzi/>

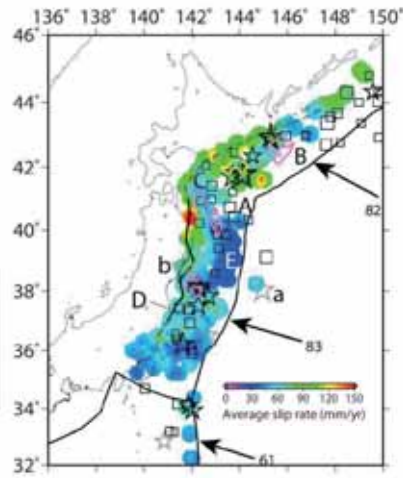
14



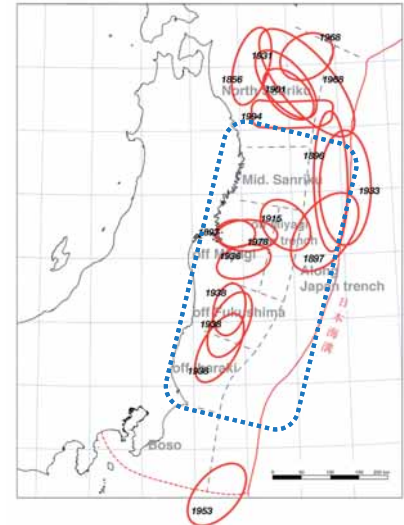
相似地震から推定したすべり量分布 (Igarashi 2010)



相似地震の分布
(南海トラフにはほとんどない)



東北地方太平洋沖における
ふだんのすべり分布



15



南海トラフ地震に関する情報

気象庁の情報は今までとどう違うのか？

今まで

時間とともに切迫性が増すというイメージ



今後

直後に最大の切迫性
時間とともに切迫性が
ゆっくり低下

異常現象の検知

臨時の情報 「調査を開始」

臨時の情報
「南海トラフ地震の可能性が相対的に高まった」

臨時の情報
「南海トラフ地震の可能性が相対的に高まった状態ではなくなった」

16



東日本大震災以降に設置された、南海トラフ地震防災対策に関する国の検討会議（内閣府）

2011年～2015年 南海トラフの巨大地震のモデル検討会

南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について
 （第一次報告：2012年3月31日、第二次報告：2012年8月29日）
 南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告（2015年12月17日）

2012年～2013年 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ

南海トラフ巨大地震の被害想定について
 （第一次報告2012年8月29日、第二次報告2013年3月18日）
 南海トラフ巨大地震対策について（2013年5月28日）

南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会

8回開催

報告（2013年5月28日）

座長 山岡耕春（名古屋大学）
 副座長 橋本 学（京都大学）
 井手 哲（東京大学）
 長尾年恭（東海大学）
 堀 高峰（JAMSTEC）
 松澤 暢（東北大学）

2016年～ 南海トラフ沿いの地震観測・評価にもとづく防災対応検討ワーキンググループ

南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会

3回開催

17



作業部会の結論の本質は…

1. 地震を精度良く予測することは
 （地震予知は）難しい。

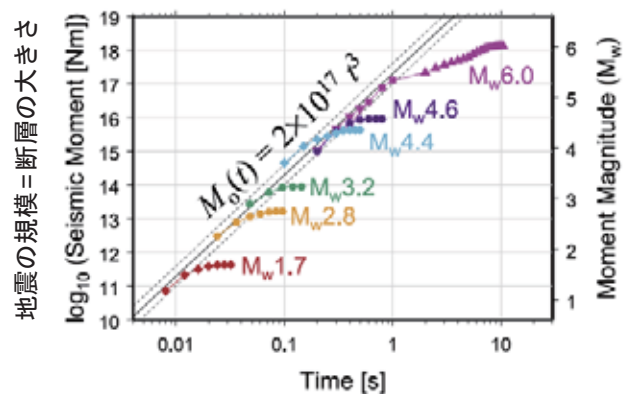


地震は突発的に発生することを
 前提に対策を取る。

2. 誘発される地震（余震など）の
 頻度は、統計則（大森則）に従う。



地震発生は、確率的に予測
 することは可能。



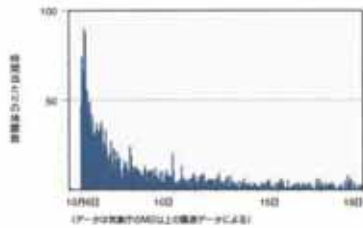
大きな地震も小さな地震も始まりは同じ。
 終わってみないと地震の規模はわからない。
 (Uchida and Ide, 2010)

18

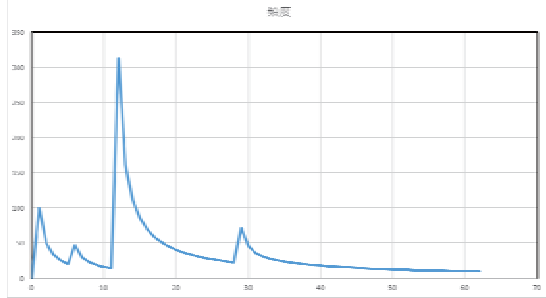


余震の大森則

【本震・余震型】の地震活動の例（平成12年（2000年）鳥取県西部地震）



実際の「余震」は、このようになる



余震の頻度は
本震からの時間に反比例する

大森・宇津公式

$$n(t) = \frac{K}{(t+c)^p}$$



tは本震からの時間
n(t)は本震からt時間後の地震数
K, c, pは定数, pはだいたい1となる

尾形のETASモデル

$$\lambda(t) = \mu_0 + \sum_{j:t_j < t} e^{\alpha(M_j - M_c)} \frac{K}{(t+c)^p}$$



19



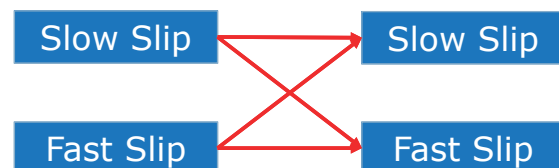
余震の大森則（ETAS）を簡単に言うと

- 一旦地震が起きると、周辺の地震を誘発する
（スロースリップも周辺の地震を誘発する）
- 誘発の確率は、直後が最大
- 普段よりも地震活動が活発な状態は何年も続く

「すべり」が「すべり」を誘発する法則

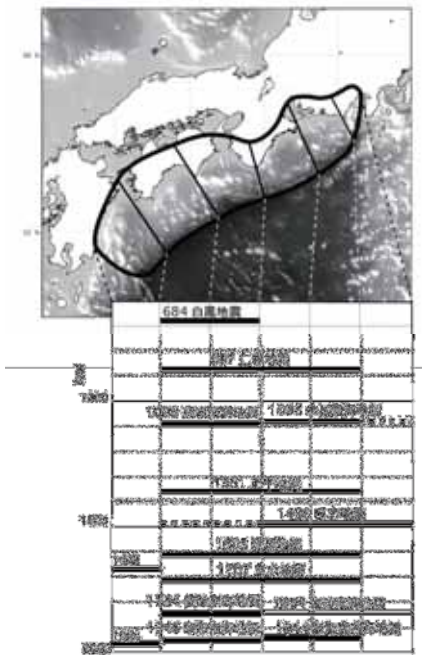


地震が地震を誘発する法則



20





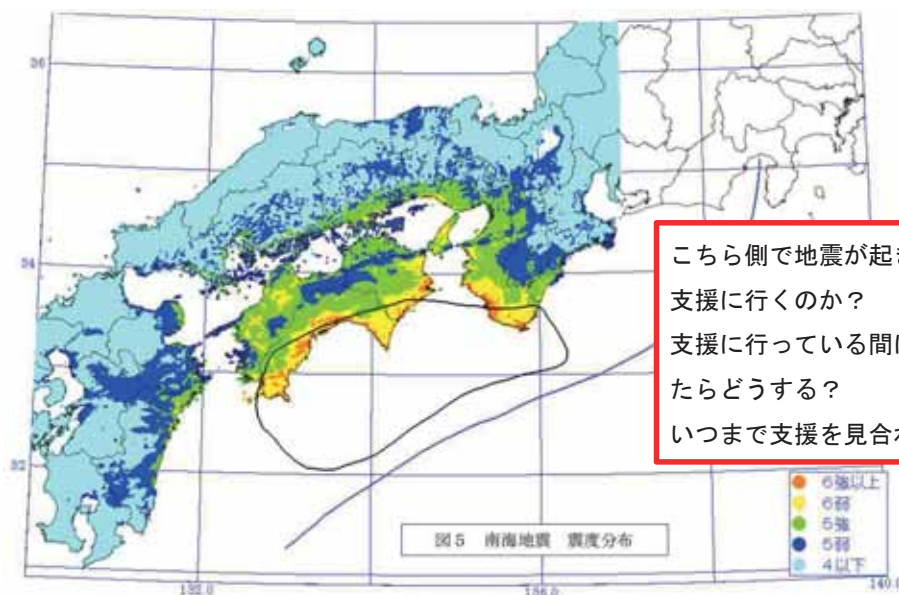
南海トラフ地震に関し、頭の痛い4つのケースに対し
現在の地震学が答えられることは

1. 紀伊半島を挟んだ片側のみでM8が発生した場合
 - 直後に反対側でM8クラスの発生の可能性（1週間で10～20%か）
2. 南海トラフで中途半端な地震(M7.5程度)の地震が発生した場合
 - 直後に近傍でM8クラスの発生の可能性（1週間で～5%か）
3. 様々な異常現象が観測された場合
 - 直前予知には貢献しない（と結論した）
4. 規模が大きく速いスロースリップが発生した場合
 - 大変心配な状態であるが、摩擦パラメーター、応力などの状況が不明で有り、また経験もないので、定量的な予測は不可能。

21



南海トラフの半分だけが震源域になったらどうする？

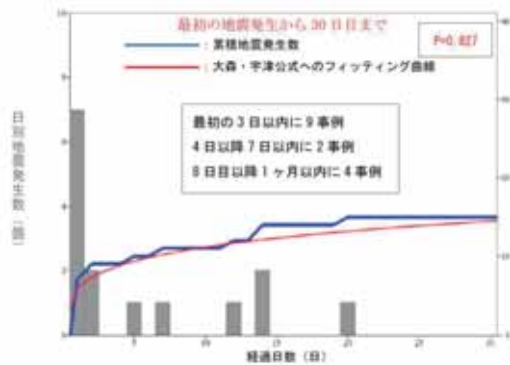


こちら側で地震が起きない？
支援に行くのか？
支援に行っている間に地震が起きたらどうする？
いつまで支援を見合わせるのか？

22

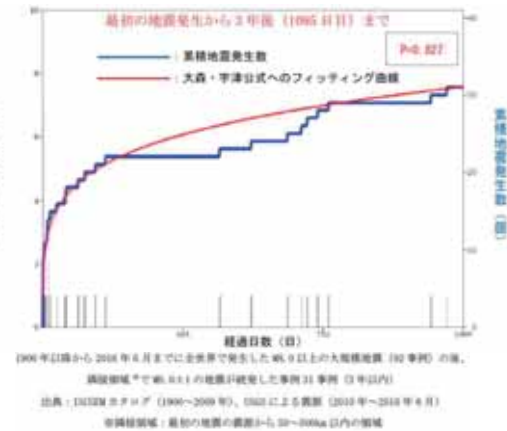


南海トラフでM8クラスの地震が発生した場合、 隣接域で地震が発生する確率は？（内閣府）



隣接域への誘発性も大森-宇津公式
に従うはずである。

直後は要注意



長期間、確率の高い
状態が続く

23



「普段よりも地震発生の可能性が高まったという情報」とは

今後1週間の発生確率が、せいぜい10%程度

- ・ 1週間 = 社会が耐えられる限界
- ・ 10% = 無視できないが....

情報解除の問題

- ・ 科学的には不可能
- ・ 「余震はいつまで続きますか？」という質問に答えられないことと同じ
- ・ 一定期間後（1週間??）に自動解除しか方法は無い
- ・ 解除＝安全ではない

24



では情報の受け手はどうするか？ 基本的な考え方



普段からしておくべき対策をその機会に再確認する

公助

- ・ 突然地震が発生した場合に比べて被害（犠牲者数・被害額）が減る対応をする
- ・ 10回に9回は地震が起きなくても「批判に耐えられる」対応をする。

自助

- ・ 自分の安全をまもる行動は**自分で判断**して決める。
- ・ そのためには情報が提供される必要がある
- ・ また、情報を理解する能力も必要である
- ・ 自分の命を「お上」任せにしない

25



地震・噴火・気象災害の予測への 人工知能技術の活用

井田喜明
(アドバンスソフト株式会社)

人工知能技術が自然現象の予測にどう使えるのか
応用事例をレビューして今後を展望する

講演内容

- (1) 人工知能技術について
ニューラルネットワーク、自己組織化写像など
- (2) 気象現象の予測
熱帯低気圧の進路、降雨量の季節変化など
- (3) 噴火の予測
噴火規模の予測、噴火タイプの予測、
火山性震動の分類と水蒸気噴火の関係など
- (4) 地震と津波の予測
摩擦実験のすべり時刻など
津波予測の問題点
- (5) まとめと展望

(1) 人工知能技術について

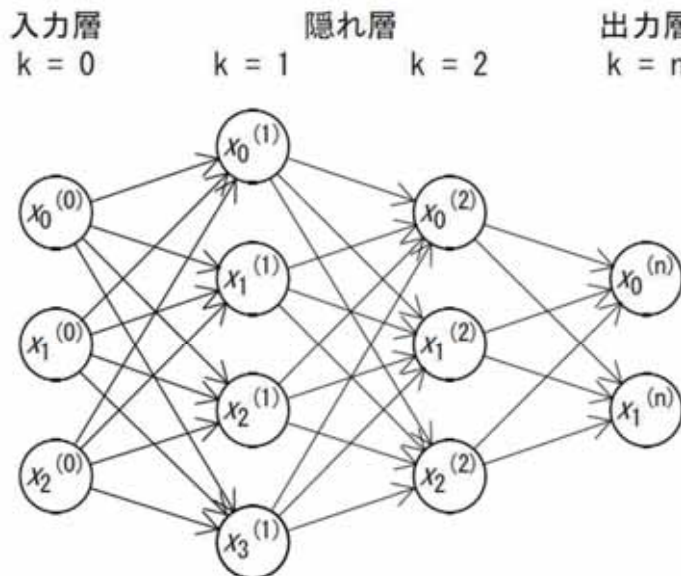
自然現象の解析や予測によく使われる 人工知能技術について概説

人工知能とは

- **人工知能は、学習によって能力を獲得するシステム**
人間はシステムの枠組みをつくるだけ
cf. 通常のシミュレーションでは、人間がプログラムですべて指示
- **教師あり学習 (supervised learning)**
 1. 人工知能の訓練用に、個々の入力に対する出力の正解を人間がつくる(教師データ)。
 2. 訓練用データの出力が教師データにできるだけ近くなるように、定数 (bias, weight)を決める。
 3. テスト用データセットで学習結果をチェックする。
(**過学習** over-learningを避ける)
- **教師なし学習 (unsupervised learning)**
入力データの性質(特徴量)を人工知能が自分で見つける
自己組織化写像Self-Organizing Map (SOM)による分類など

ニューラルネットワーク (Artificial Neural Network; ANN)

情報を段階的に変換
入力層には予測に使う情報
 観測データ、現象の履歴
 現象の発生する環境など
出力層は予測したい内容
 現象の発生時期、発生場所
 現象のタイプなど
隠れ層は情報を洗練
 2層程度までのものが多い
教師データは予測結果の正解
 過去の事例、観測結果など
 シミュレーション結果も



重み w とバイアス b を学習で決める
 活性化関数 h にはシグモイド関数など

$$x_i^{(k+1)} = h^{(k)}(b_i^{(k)} + \sum_j w_{ij}^{(k)} x_j^{(k)})$$

- ・隠れ層の枚数やニューロンの数も、定数の値とともに学習で決める。
- ・過学習を避けるために、教師データは訓練用とテスト用に分ける。

自己組織化写像 (Self-Organized Map; SOM)

入力データ
(入力ベクトル)



投影

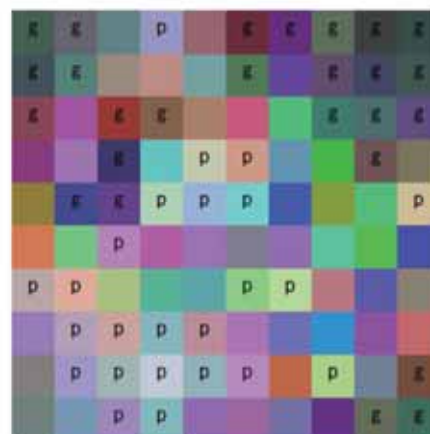
写像空間の格子点
(重みベクトル;
入力ベクトルと同じ形式)

- ・入力データを類似なものがまとまって分布するように写像空間に投影する。
- ・学習は類似な入力データが近くに投影されるように重みベクトルを調整する。
- ・ベクトル間の類似度は、成分の差の二乗和などとして、適当に定義。

(a) 初期投影 ランダム



(b) 自己組織化投影



緑のグループg
 紫のグループp
 全体で50個

投影は10x10個
 の格子点に

図は同じ投影を
 周期的に反復
 境界の影響を
 除去

深層学習 (deep learning) について

- 深層学習は隠れ層を多数重ねてニューラルネットワークを多層化し、抽象度の高い情報を取り出す技術。
- ニューラルネットワークを単純に多層化すると、変換の度にノイズが累積して、有効な情報を取り出せない。

多層化のための技術は、たとえば：

画像解析などでは、変換でニューロン間の結合を特定なものに限定する

（たたみこみニューラルネットワーク）

音声認識などには、前の学習で得られた情報を次の学習で活用

（再帰型ニューラルネットワーク）

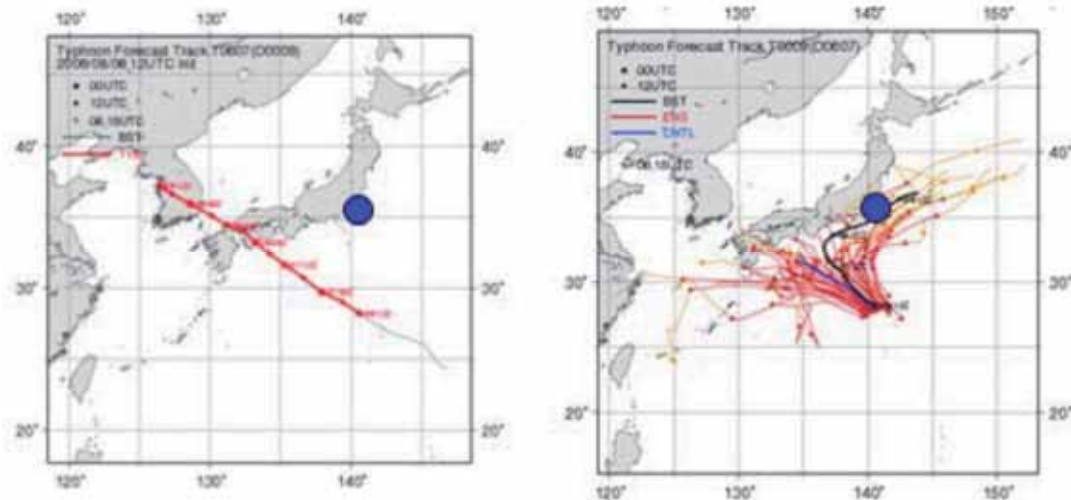
- コンピュータの性能向上で、多層化に伴って生ずる多数の未定定数が計算できるようになった。
- インターネットの普及で、学習に使う膨大なデータの収集が容易になった。
- ここで紹介する自然現象の予測には、最大で4層程度のニューラルネットワークが使われており、深層学習の技術は本質的でない。

(2) 気象現象の予測

気象現象の予測は大気運動の計算に基づくが
人工知能技術の入る余地も

天気予報のためのシミュレーション

- ・大気運動の計算(完全流体、理想気体、静力学平衡)を基礎に
全世界と日本付近(格子間隔は20km, 5km程度)を対象
- ・太陽光の吸収、地表の摩擦、積雲上昇などはパラメータ化で対処
- ・メッシュの粗さ、パラメータ化などで無視できない誤差も
- ・カオスのために1週間程度より先の予測は不確定;アンサンブル予測で対処
- ・予測の難しさの例に、熱帯低気圧の進路予測(下図)



2006年台風7号の進路予測。左は決定論的計算、右はアンサンブル予測(気象庁)

Copyright ©2018 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

9

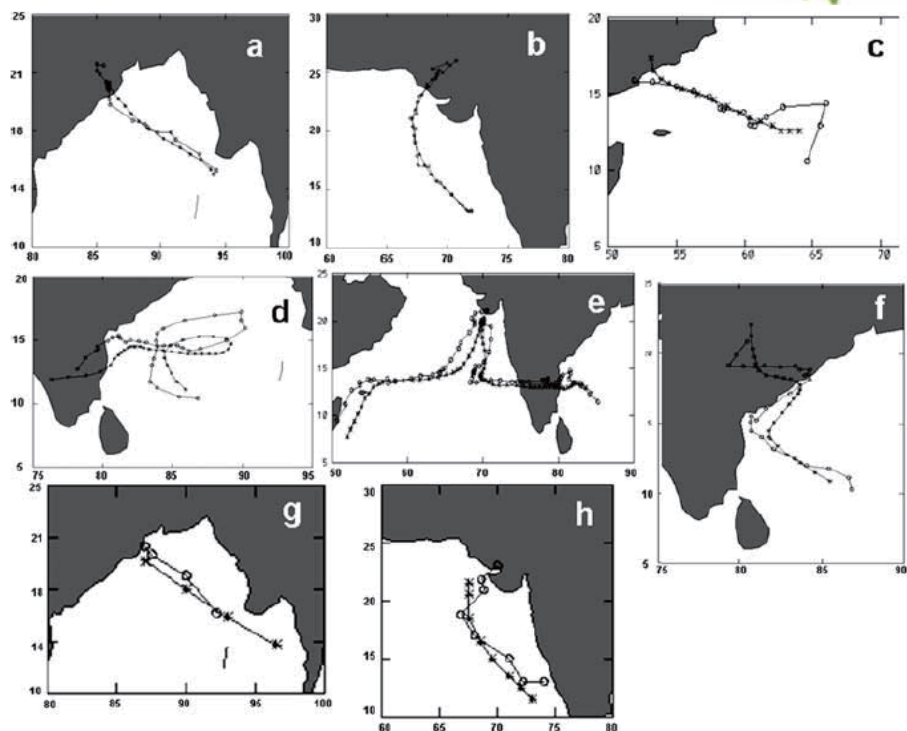
サイクロンの進路予測

Ali et al., Geophys. Res. Lett.,
34, L04603,
doi:10.1029/2006GL028353, 2007.

サイクロンは
発達した熱帯低気圧
(インド洋周辺の用語)

隠れ層なしのANN
入力:
現在、6時間前、
12時間前の位置
出力:
24時間後の位置

学習
131サイクロンの
軌跡から1713点
(1971-1982年)
テストには
1996年以降のデータ



予測された位置(○)と実際の位置(×)
g, hはa, bと同じサイクロンの異なる手法による予測

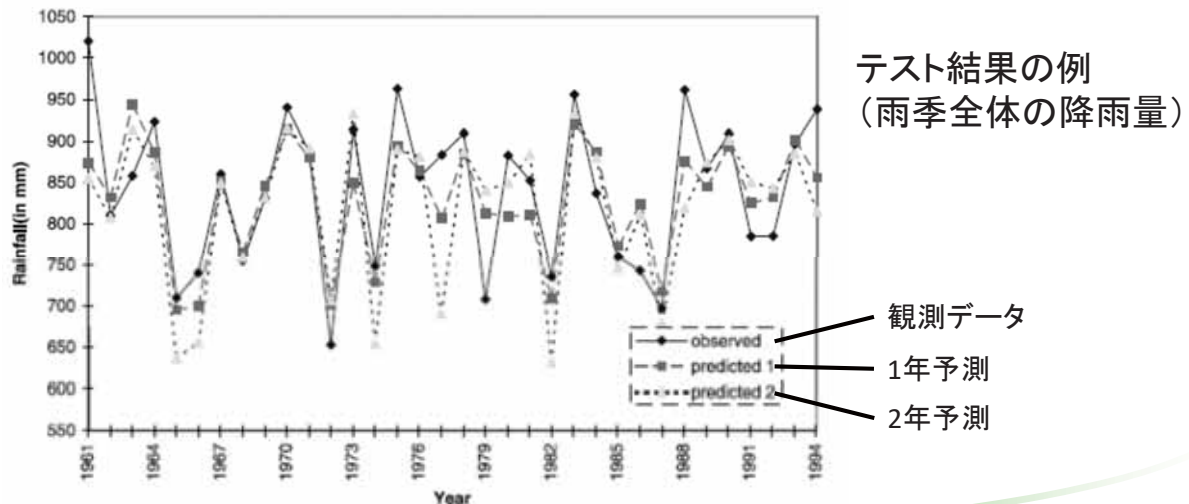
Copyright ©2018 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

10

モンスーン地域(インド)の降雨量

A. K. Sahai et al., Climate Dynamics, 16, 291-302, 2000.

- ・カオスの影響を受ける長期的な変動への応用例
- ・6-9月の月別の降雨量と雨季全体の降雨量を入出力の対象に
- ・ANNは入力層、隠れ層2層、出力層(25, 2, 4, 1ニューロン)
- ・入力は過去5年分のデータ、出力は翌年の降雨量(5つのどれか)
- ・学習は1876-1960年のデータ、テストはそれ以後のデータで



Copyright ©2018 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

11

気象現象への人工知能技術の活用

- ・気象現象の予測は、基本的には、大気運動の計算にパラメータ化を加えたシミュレーションに基づく演繹的な予測。
- ・格子点の粗さやパラメータ化の不正確さのために、演繹的な予測にはかなり大きな誤差が伴う。また、カオスのために1週間程度より先の予測はできない。
- ・人工知能技術は、経験的な事実には隠された規則を特徴量として取り出して、演繹的な予測の弱点を補う。
- ・災害に直結する気象現象には、人工知能技術を用いて予測の精度を上げられるものがある(例として台風の進路予測)。
- ・カオスのために予測が難しい長期の現象についても、人工知能技術が活用できる(例としてモンスーン地帯の降雨量の予測)。

Copyright ©2018 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

12

(3) 噴火の予測

噴火の予測は、過去の噴火の記録や
噴火前の観測データが学習の材料

噴火規模の予測 (Vesuvius火山)

I. De Falco et al.: J. Volcanol. Geotherm.Res., 113 111-118, 2002.

噴火規模として火山爆発指数VEI: 途中経過も含めて0.25を単位に表現
各年の最大VEIを予測対象に; 噴火が起きなかった年はVEIを0とする

入力層

過去M年間のVEI

↓ ANN

出力層

翌年以降のVEI

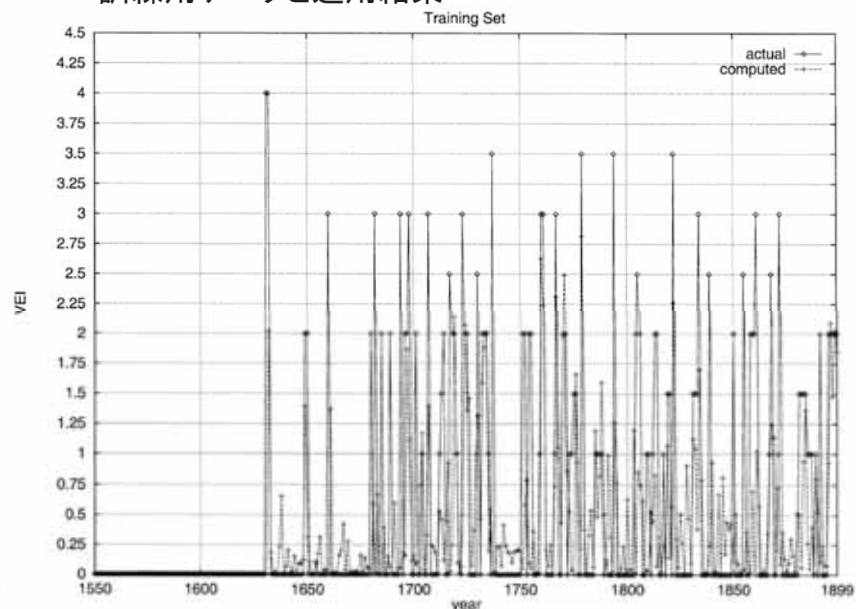
最適構成

M = 20、隠れ層 1
(10ニューロン)

噴火記録

学習に1500-1899年
テストに1900年以降
2020年まで噴火なし

訓練用データと運用結果



噴火タイプの予測(Etna火山)

S. Castellaro¹ and F. Mulargia; Geophys. Res. Let., 34, L10311, doi:10.1029/2007GL029513, 2007.

入力

前の噴火までの日数
前の噴火の噴出物量
火山周辺の地震の数と
最大マグニチュード
地震活動の中心位置

↓ ANN (2 隠れ層)

出力: S, L, Nのどれか

S: 山頂噴火

L: 山腹噴火

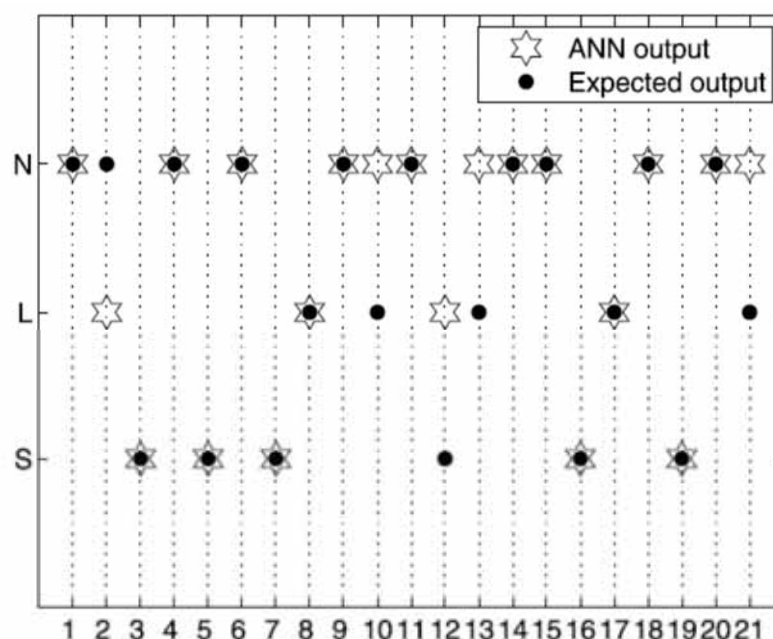
N: 噴火せず

学習:

1971-2006年のデータ

23S, 21L, 27Nを含む

テストの例



噴火タイプの予測結果(Etna火山)を 自己組織化写像(SOM)で診断

山頂噴火Sは

クラスターとして分離

山腹噴火Lは

非噴火Nと混ざって

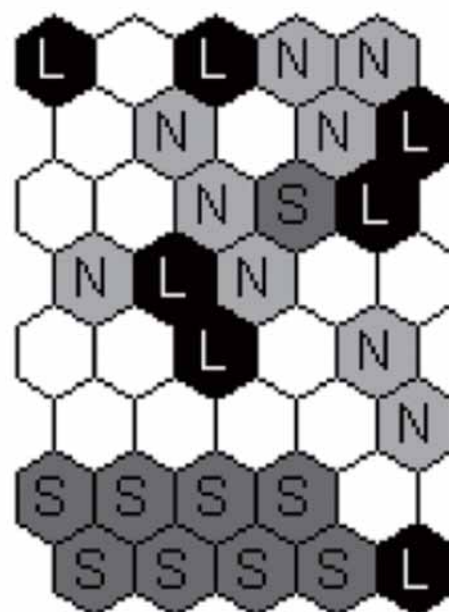
独立したクラスターをつくらない



この入力データでは

山腹噴火と非噴火は

区別が難しい

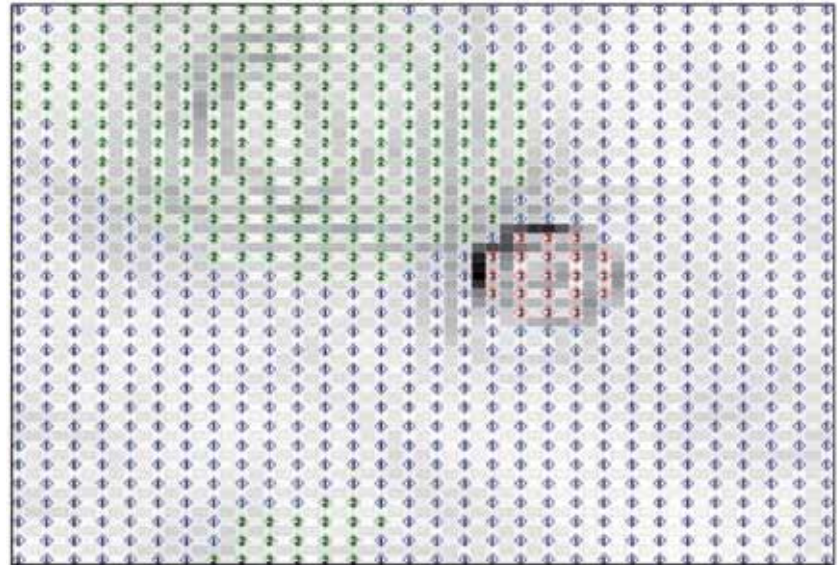


水蒸気噴火前の地震スペクトルの変化

Carniel et al., J. Volcanol. Geotherm. Res. 254, 69–79, 2013.

Ruapehu火山(ニュージーランド)で発生した火山性微動を自己組織化マップ(SOM)で分類して、水蒸気噴火と関連づける

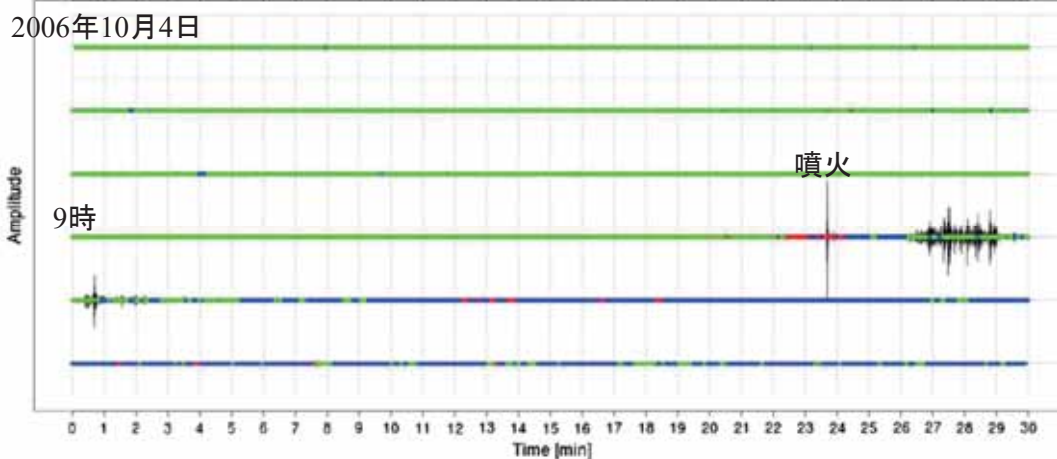
1. 火山性微動の波形を10秒の間隔で区分
2. 各々の時間帯をFFTで1024点のスペクトル
3. スペクトルを入力データ
4. SOMで3タイプに分類



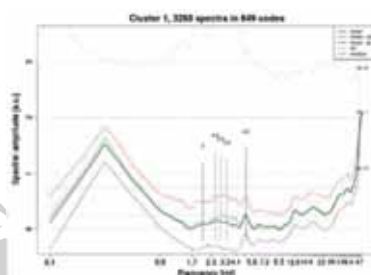
Copyright ©2018 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

17

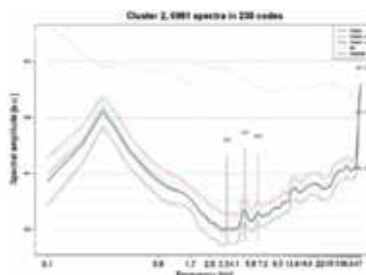
微動のグループの時間変化 (Ruapehu火山)



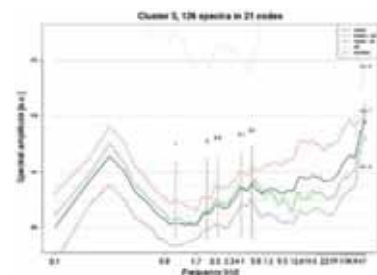
1. blue tremor



2. green tremor



3. red tremor



Copyright ©2018 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

18

- 過去の噴火記録を人工知能の学習に用いて、将来の噴火の発生や性質を予測するシステムができる。
- 火山性地震などの観測データも、人工知能を介在にして、噴火の予測に活用できる。
- 現在の噴火予知は噴火履歴、前兆現象、火山の構造などを総合的に判断して、噴火の発生や展開の可能性を評価する。人工知能技術を用いれば、噴火の発生を迅速かつ客観的に評価するシステムができそうである。
- 日本の火山の多くは噴火事例が多くないので、学習の題材をどうそろえるかが課題。

(4) 地震と津波の予測

摩擦実験ですべりの発生時刻を予測した研究
津波伝播の計算を津波予報に活用する方法

摩擦実験ですべりが発生する時刻を予測

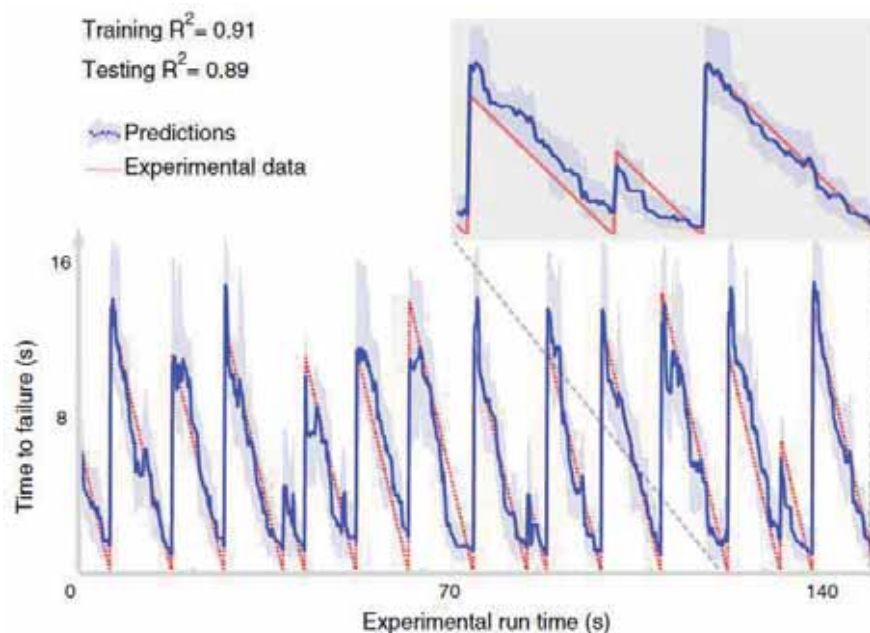
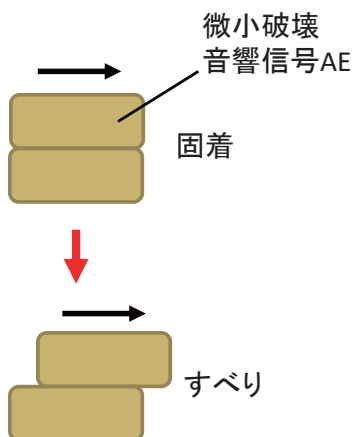
Rouet-Leduc et al., Geophys. Res. Lett., 10.1002/2017GL074677, 2017.

入力: 各時間区画のAEの統計量
(平均、分散、高次のモーメント)

解析はランダムフォレスト法
すべった時刻の実測で学習

出力: 次にすべる時刻

摩擦実験

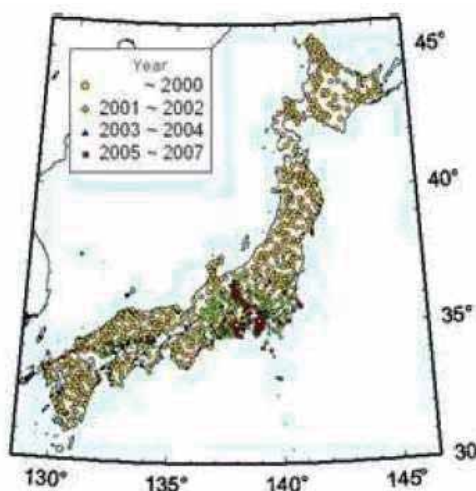


Copyright ©2018 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

21

地震予知の現状と人工知能技術の活用

- ・パークフィールドの予知実験が失敗し、世界的に決定論的な予知への悲観論
阪神淡路大震災(1995年)以降、日本でも確率予測に方針転換
- ・地球電磁気学研究者には決定論的な予知への意欲; 地震現象とのつながりは弱い
- ・地震や地殻変動は稠密な観測網をもち、膨大な連続データが蓄積
人工知能技術を使って、このデータから予知に使える特徴量がつかめるか?



高感度地震観測網
(防災科技研Hi-net)



GNSS観測点
(国土地理院電子基準点)

Copyright ©2018 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

22

津波予測の問題点 (1)

<計算にかかる時間>

- ・津波の伝播は、海底地形や海岸線の形状を正確に考慮すれば正確に計算できるが、計算に時間がかかりすぎて、リアルタイムの予報に間に合わない。
- ・気象庁では、過去の事例を分類してデータベースをつくり地震発生時に似ている事例を探して、予報に用いる。
- ・過去の事例にシミュレーションを加えて、人工知能の学習に用いる方法が有望。

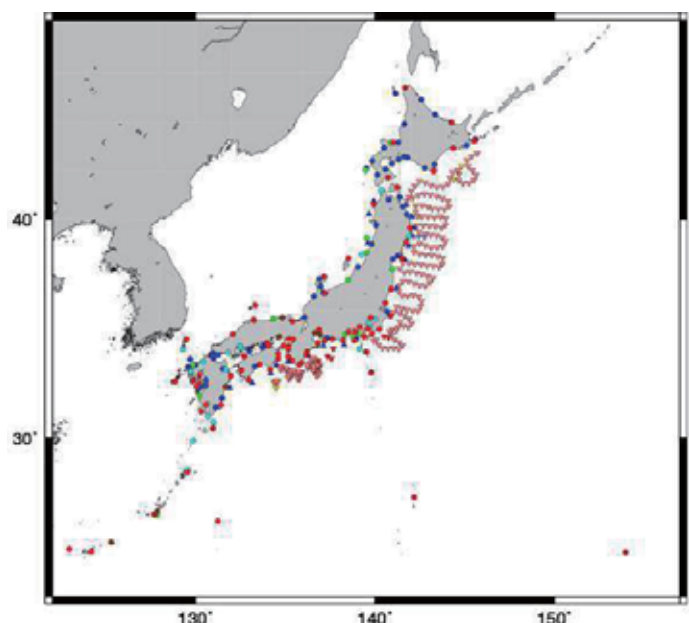
[参考] アルファ碁の学習

- ・アルファ碁は40層程度のたたみこみニューラルネットワーク
入力: 現在の碁石の配置、数手前までの指し手
出力: 次の指し手の優劣を確率で表示
学習にはシミュレーション
様々な打ち手が導く結果をモンテカルロ木探索で探索し評価

津波予測の問題点 (2)

<予測に用いる情報>

- ・津波の初期変位は、地震による海底の上下変動: 発生直後の地震観測だけでは決まらない
- ・海底観測網を充実して、伝播途上の津波をとらえ、予測に活かす方向に
- ・海底の津波観測も、シミュレーションを使って、学習に活用できる。



開発が進む海底津波観測網
(設置は防災科研、気象庁など)

(5) まとめと展望

まとめ

- 気象現象、地震、噴火について、隠れ層が最大2枚程度のニューラルネットワークや自己組織化写像を用いて、予測に関する研究が行われてきた。
- 気象現象については、熱帯低気圧の進路、降雨量の見積もりなどに人工知能技術が活用されている。
- 噴火の規模やタイプの予測には、学習に過去の噴火記録が用いられる。噴火前の観測データを噴火と関係づける研究もある。
- 摩擦実験のすべり時刻を人工知能技術で解析した例があるが、自然地震に応用できるかは不明。
- 津波の予測には、学習にシミュレーションも利用して、予測システムを開発することが有望。

- 気象現象については、大気運動の計算を補足する形で、各種の現象に人工知能技術の活用が望まれる。カオスの影響を受ける長期的な予測では、人工知能技術が主役になりうる。
- 噴火の予測は、噴火記録や各種の観測データを活用する手段として、人工知能技術が使える。各種の情報を集めて総合的に噴火を予知するシステムの構築も試みる価値がある。
- 地震の予測については蓄積された地震や地殻変動のデータをうまく活用できるかどうかが鍵になる。
- 津波の予測では、人工知能技術は過去の記録やシミュレーションを活用する手段になりうる。
- IBMは地震予知や噴火予知に自社製のWatsonを用いる意向を表明したが、その成果は聞こえてこない。

【防災に係る数値シミュレーションのご紹介】

技術第5部 富塚 孝之

「防災シミュレーション」講演会

-自然災害を科学する-

2018年7月12日（木）

アドバンスソフト株式会社

防災に係る数値シミュレーション

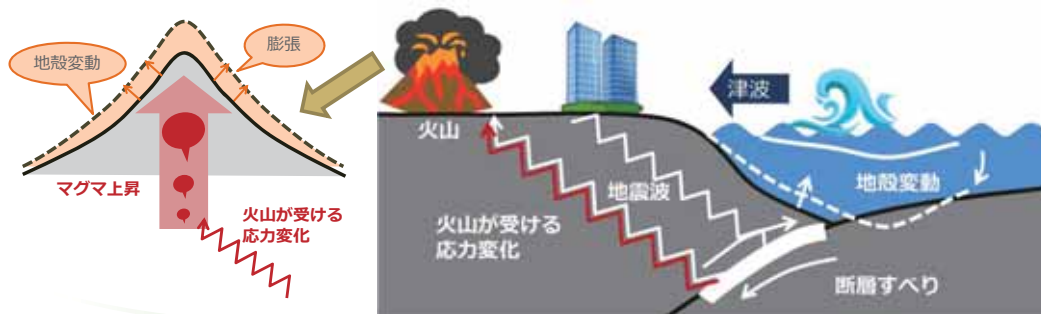
- ・ アドバンスソフトが取り組む、防災数値シミュレーション

- 地震・噴火解析
- 津波解析
- 海洋拡散解析
- 大気拡散解析
- 火山噴火・火山灰拡散解析
- 火災・爆発解析

地震・噴火解析ソフトウェア Advance/FrontSTR/GEOS

• 何ができるか

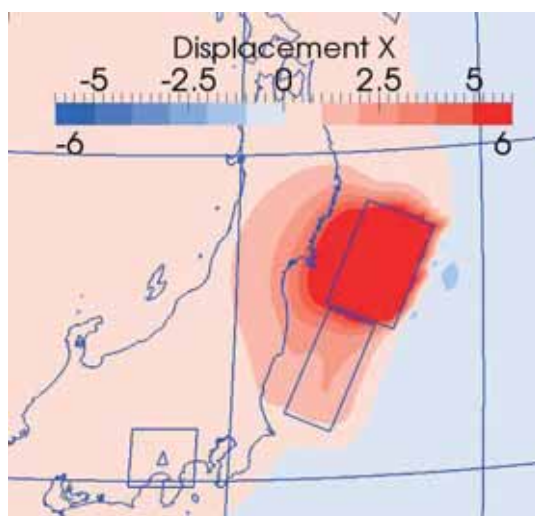
- 断層やマグマ供給源を設定して、地殻内部と地表で変位や応力を計算
- 粘弾性による変位や応力の緩和を計算
- マグマが割れ目を拡大しながら上昇する過程を計算
- 断層からの地震波の伝播を計算
- 観測データから震源やマグマ供給源の位置と状態を計算



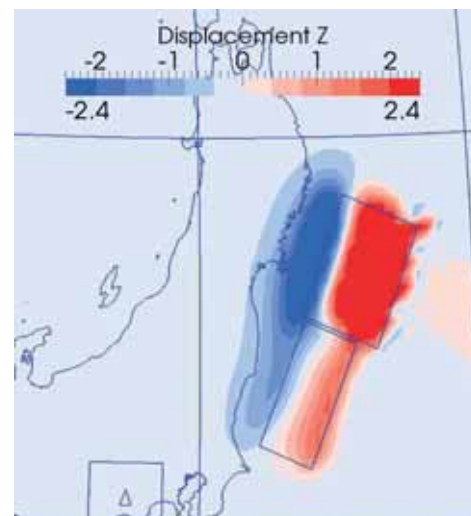
3

地震・噴火解析ソフトウェア Advance/FrontSTR/GEOS

• 地殻変動解析



地表における水平変位



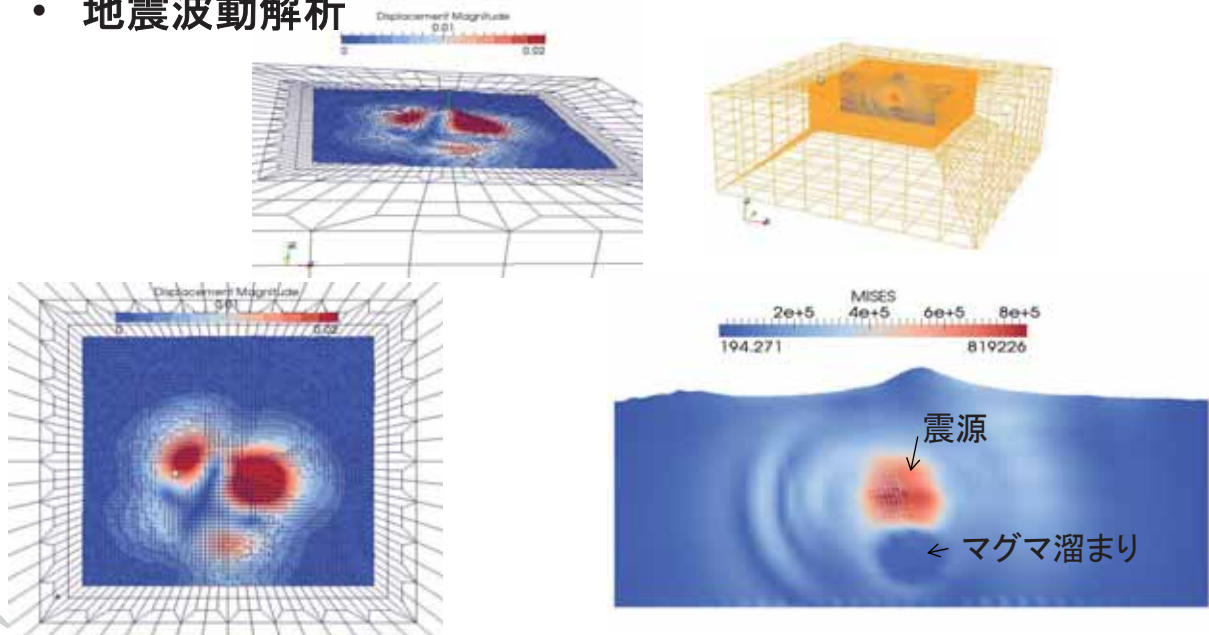
地表における鉛直変位

解析事例提供: 防災科学技術研究所 地震・火山防災研究ユニット殿

4

地震・噴火解析ソフトウェア Advance/FrontSTR/GEOS

地震波動解析



地表面の変位(四象限型)

等価応力(中央緯線方向断面)

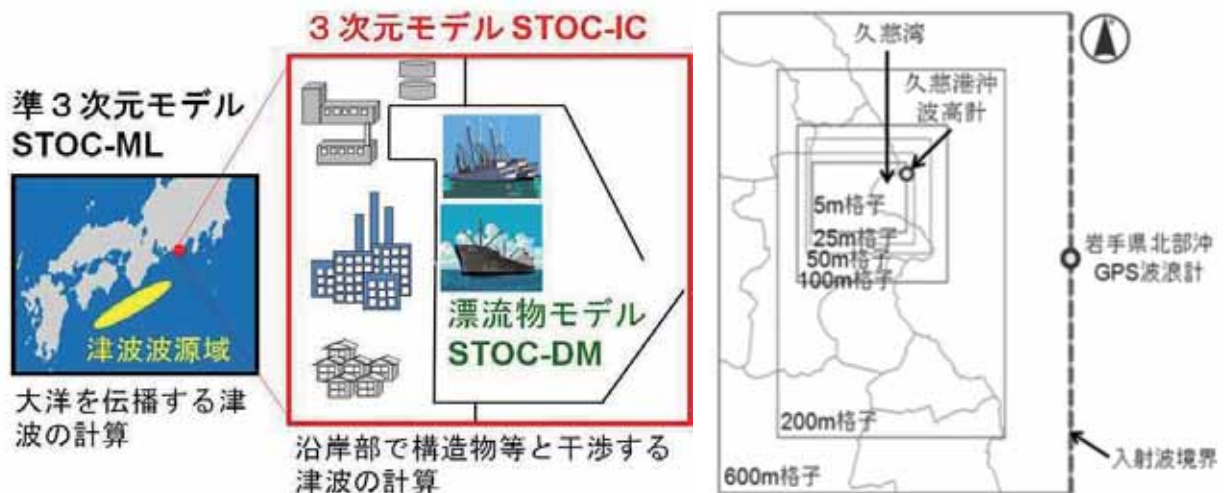
地震による変位・応力の応答

Copyright ©2018 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

5

津波解析サービス 津波シミュレータ T-STOC

- 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所様で開発されたソフトウェア



STOCのモデル構成

ネスティングにより広域から臨海部まで対応可能

※図は <http://www.pari.go.jp/unit/trc/research/stoc01.html> より引用

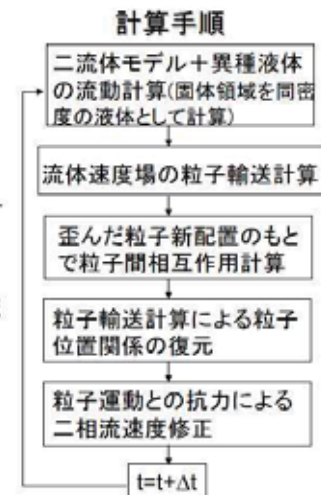
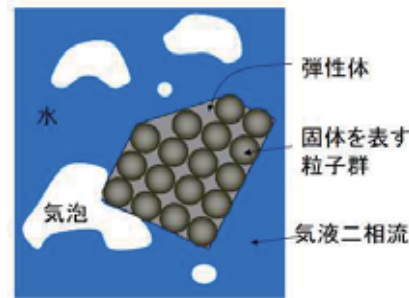
※富田孝史・本多和彦・千田優 “高潮津波シミュレータ(STOC)による津波被害解析手法”, 港湾空港技術研究所報告 第55巻第2号

Copyright ©2018 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

6

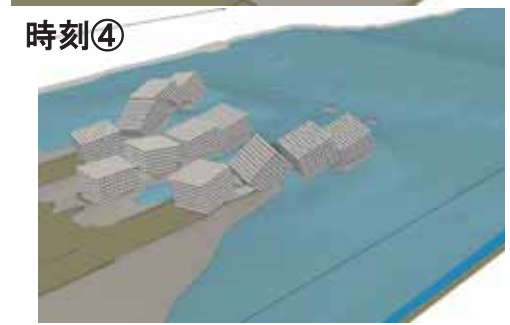
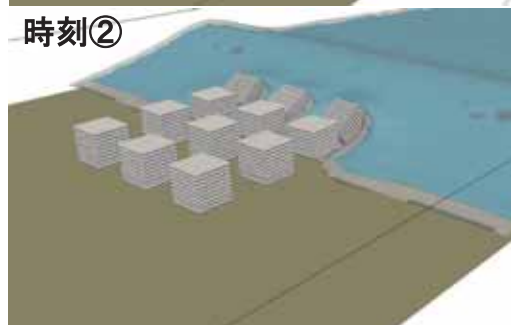
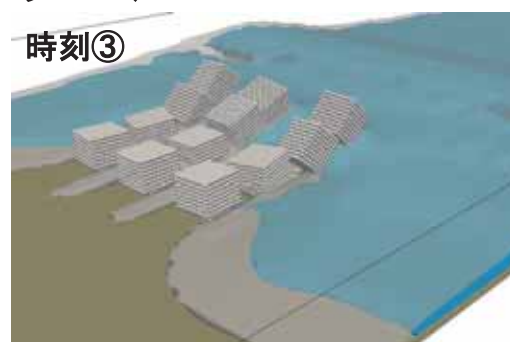
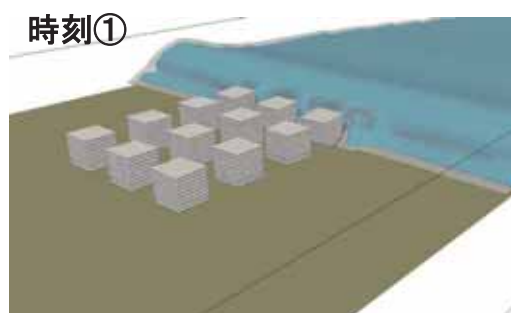
津波遡上解析ソフトウェア (流体構造連成プログラム)

- 津波による構造物の破壊、衝突が評価可能とするため、流体構造連成プログラムを開発
- 流体: 二流体モデル
- 構造: 粒子モデル



気液二相流－固体連成解析モデル

津波遡上解析ソフトウェア (流体構造連成プログラム)



気液二相流－固体連成解析モデル

海洋拡散解析サービス

海洋力学モデル／海洋拡散モデル

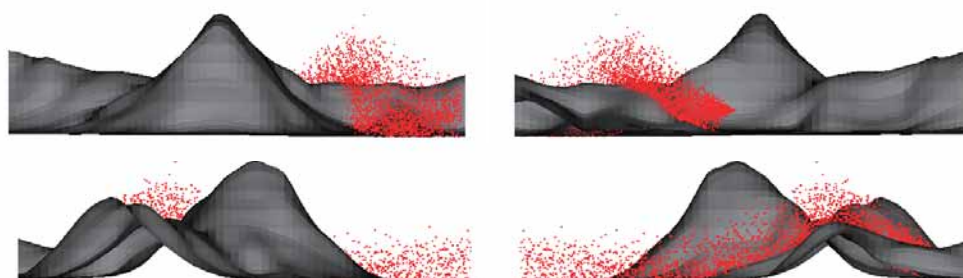
- 事故や災害により有害物質が海洋へ拡散した場合を想定し、太平洋や大西洋などの広域スケールにおける汚染状態を予測
- ROMS (Regional Ocean Modeling System) ※1
 - 海洋力学モデル(海流計算)および海洋拡散モデルを有し、オンラインで濃度場を計算
 - 運動方程式はReynolds-averaged Navier-Stokes 方程式
 - Euler型トレーサ輸送モジュール
- LTRANS (Larval TRANSport Lagrangian model)※2
 - 計算された流動場を使ってオフラインで拡散物質を計算
 - ラグランジュ型のトレーサ追跡モジュール(粒子追跡モデル)

※1 <http://www.myroms.org/index.php>

※2 <http://northweb.hpl.umces.edu/LTRANS.htm>

大気拡散解析サービス

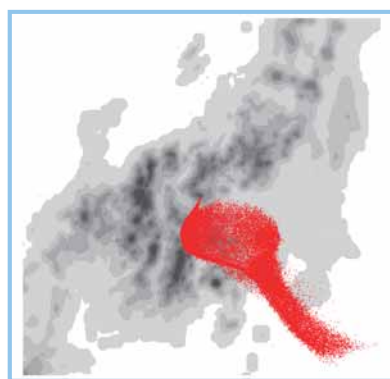
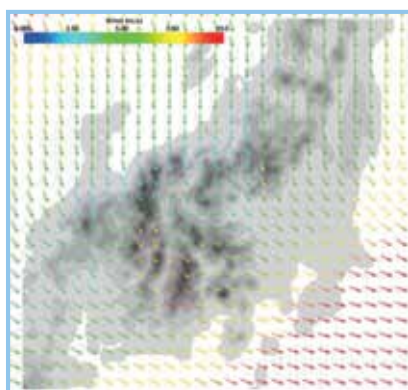
- 大気拡散シミュレーションシステム
 - 気象状態(風向、風速、気温、気圧、湿度、降雨量)を予測し、拡散物質の濃度シミュレーションをおこなう
 - 気象モデル: 非静力学メソスケールモデル
 - 拡散モデル: 移流・拡散のほかに地表沈着量も予測
 - 放射性物質の場合、地表沈着量から被ばく線量を算出



つくば山におけるトレーサ輸送解析

火山噴火・火山灰解析サービス

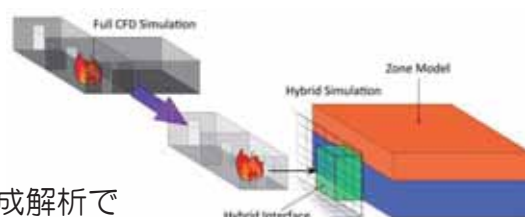
- 火山噴火に伴う火山灰降下の影響を数値シミュレーションにより予測する
- 多様な噴煙形状を再現するための非定常三次元噴煙柱解析コードを開発



浅間山からの噴煙を想定した火山灰予測

火災・爆発解析サービス/ソフトウェア

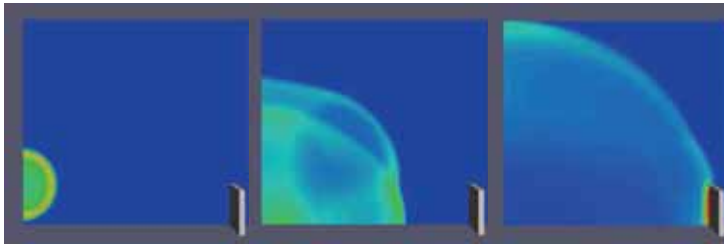
- 火災シミュレーションモデル
 - FDS (Fire Dynamics Simulator)
 - 米国商務省標準技術研究所/建築火災研究所 (NIST/BFRL)にて開発。火災のCFDプログラムとしては、デファクトスタンダード的な存在
 - Advance/EVE SAYFA
 - 建物内の火災安全・防災のためのシミュレータ
 - 文部科学省の国家プロジェクトとして開発したプログラムを、アドバンスソフト株式会社が改良整備した火災・有害物質拡散解析ソフトウェア



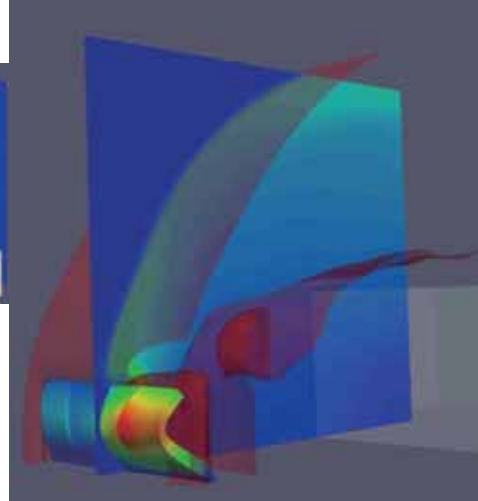
Advance/EVE SAYFAとFDSの連成解析で
大規模、複雑な建物に対する火災・煙流動解析が可能

火災・爆発解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/FOCUS

- ・ 可燃性ガス爆発シミュレーション
 - － 気相燃焼(爆燃、爆轟)に関する様々な燃焼モデル、火炎伝播モデル
 - － 衝撃波、爆風圧が高速に計算可能な流体ソルバーを開発



水素爆風圧によるコンクリート壁の衝撃評価



アドバンスソフトの取り組み

- ・ 防災に係る数値シミュレーションへのアドバンスソフトのサービス
 - － 受託解析サービス
 - ・ クライアントが対象としている地域の解析データを作成、計算、解析結果報告
 - － プログラムカスタマイズサービス
 - ・ クライアントが必要とする計算機能の追加、改良
 - － コンサルティングサービス(解析支援)
 - ・ シミュレーションを円滑に実施するために、専門スタッフがお手伝いします



Advance/FrontSTR、Advance/EVE SAYFA、Advance/FrontFlowは、東京大学生産技術研究所計算科学技術連携研究センターが実施した文部科学省ITプログラム「戦略的基盤ソフトウェアの開発」プロジェクト、および、文部科学省次世代IT基盤構築のための研究開発「革新的シミュレーションソフトウェアの研究開発」プロジェクトの成果(ソフトウェア)をアドバンスソフト株式会社が商品化したものです。アドバンスソフトはこれらのプロジェクトに参加し、ソフトウェアの開発を担当しましたが、その成果を独自に改良して商用パッケージソフトウェアとし、販売保守を行っております。



警告

このレポートに収録されている文章および内容については、ご自身のために役立てる用途に限定して無料配布しています。
このレポートを、販売、オークション、その他の目的で利用するには、著作権者の許諾が必要です。
このレポートに含まれている内容を、その一部でも著作権者の許諾なしに、複製、改変、配布を行うことおよびインターネット上で提供する等により、一般へ送ることは法律によって固く禁止されています。