

自然災害シミュレーションの現状と課題

防災シミュレーションセミナー
2013年4月25日(木)開催
井田 喜明



Copyright ©2013 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved

はじめに

□ 自然災害シミュレーションの意義

現象の理解に役立てる。現象と素過程を結び付ける
予測や予知に活用して、防災情報の質を高める

□ 自然災害シミュレーションの現状

気象現象については予報や環境予測に既に活用されている
それ以外の現象は予測能力が低く、防災への応用は限定的

□ 予測能力を上げるには

現象の理解を深める。シミュレーション技術を高める

□ 弊社に何ができるか、何をすべきか

工学などのシミュレーション技術を地球科学に応用する
防災や研究のために汎用性の高い基礎ソフトを開発する
個々の必要性に対応して適切な知識や技術を提供する



Copyright ©2013 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved

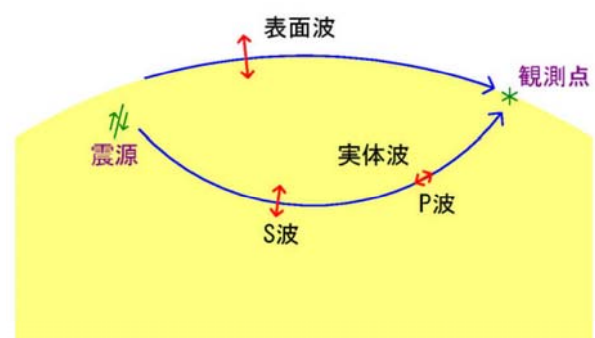
自然災害シミュレーションの現状

- **地震**:断層すべりを仮定して地震波を解析する技術が確立
応力を解放する自発的な破壊の発生は現象の理解が未熟
- **地殻変動**:断層運動やマグマ移動による変形の計算法が確立
発生源の性質を推測するためのインバージョンに使われる
- **津波**:海底地形のデータを使って伝播を計算する技術が確立
発生源の設定が不正確。陸での遡上や反射の評価技術が未熟
- **噴火**:地下のマグマの把握が難しく、噴火の発生予測は未熟
溶岩流の流下予測は可能。噴煙や火砕流は解析方法が進歩
- **気象**:天気予報で既に実用化。長期予報の精度は落ちる
テレコネクション、集中豪雨や竜巻の予測は精度の向上が必要
- **環境**:地球温暖化の評価に活用。予測結果にはばらつきが大
表層環境の安定性、生命との関連などについて究明が必要



地震:震源解析の現状

- * **断層運動で発生する地震波の伝播**
すべりを仮定して計算する技術が確立
(グリーン関数法、差分法など)
- * **断層すべりのインバージョン**
地震動の観測波形を解析する技術
すべりの拡大や分布に解析事例
- * **地震の揺れ(地震動)の予測**
長周期の震動は震源で決まる
短周期の震動は多くが伝播時に発生

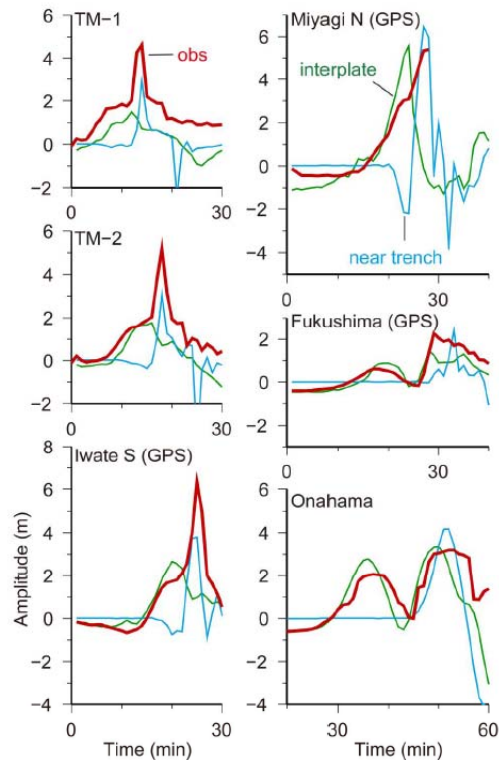
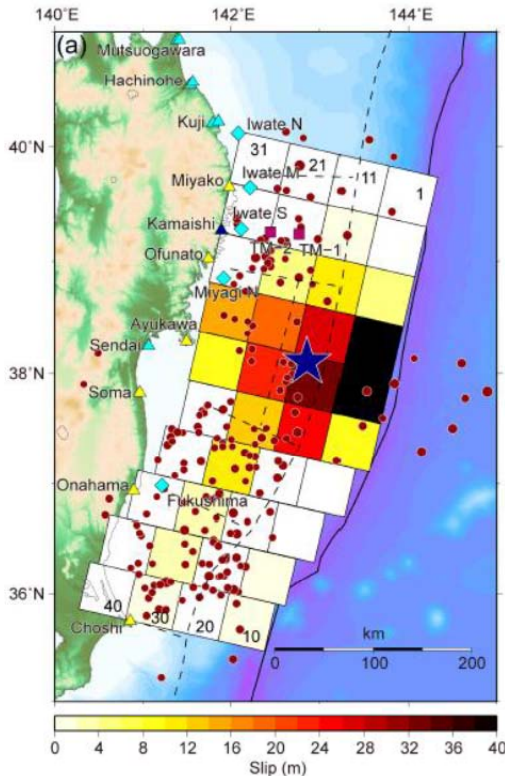


- * 地震は本来**応力を解放**するために自発的に発生する破壊現象
震源解析の最終的な姿は応力の蓄積と解放過程を記述すること
- * 断層すべりは**破壊力学**や**摩擦法則**などに基づいて解析が進むが、
現象の本質を捉えるには理解が不十分
- * **地震予知**への応用には見通しが開けていない
地震予知は前兆現象頼みか、発生間隔に基づく確率予測に留まる



地震の観測波形から断層すべりの分布をインバージョン

1978年宮城県沖地震 (Yamanaka and Kikuchi, JGR, 2004)



Copyright ©2013 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved

地震予知への道筋は？

地震発生過程の理解を物理学に

蓄積された応力を解放する過程としての地震の発生

地震のもつフラクタル性にどう対応するか

(グテンベルグ・リヒター則の意味)

モデルの追求: アスペリティーやバリアの概念

予知の役割と予知手法の強化

大規模地震災害は地震予知なしに対応できるのか

地震発生の確率予測は直前の準備には役に立たない

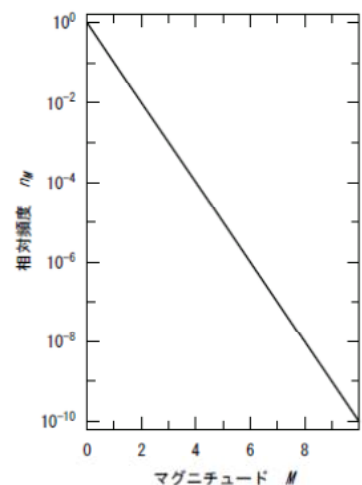
地震発生前に見られる加速現象は予知に使える

地震予知から地震の制御に向かう道は？

予知よりも制御の方が易しいかもしれない

待ち構える中で地震を起こす可能性も追求すべきでは

グーテンベルグ・リヒター則



$$\log n_M = a - bM$$



Copyright ©2013 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved

アスペリティーとバリア (Aki, JGR, 1979)

アスペリティー:

強固で破壊され難い領域
そこを破壊するのが地震

バリア:

破壊を止める障壁
止められない地震が大地震

ゲーテンベルグ・リヒター則

小地震は頻度が高い
(大地震は頻度が低い)
地震現象はフラクタル
破壊は簡単に始まるが
多くはすぐに止められる

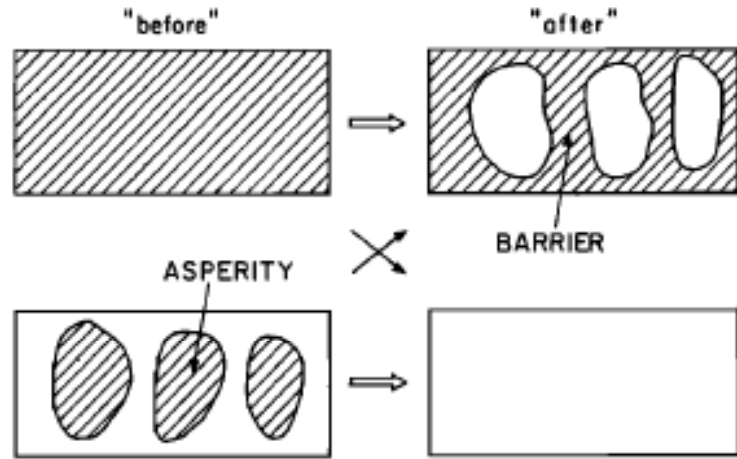


Fig. 1. The barrier model and asperity models, respectively, for the aftershock and foreshock processes.

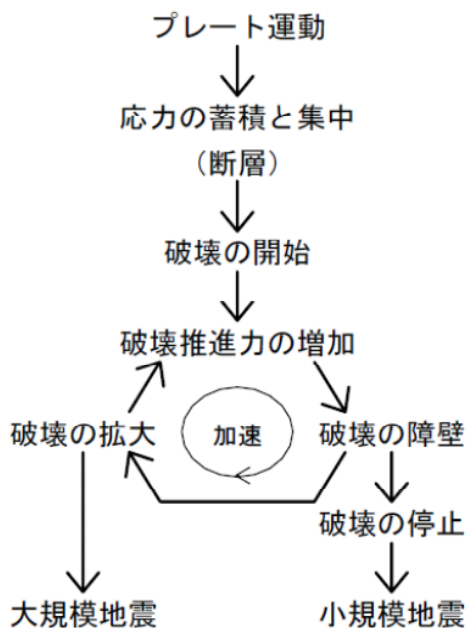
地震発生理論として、アスペリティー理論が現在の主流
統計則などから見ると、バリア理論の方が適切。理論の充実が望まれる

井田喜明: 地震予知と噴火予知、ちくま学芸文庫、2012

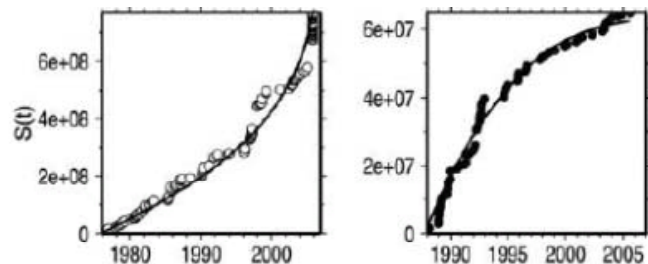
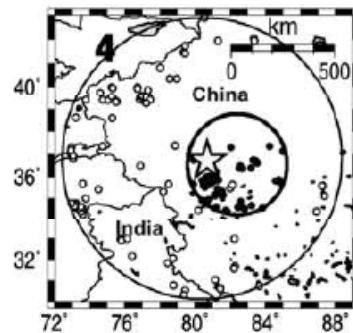


地震発生前の加速現象を地震予知に

地震発生の準備の加速的な進行



大地震発生前の前震など
前兆現象は加速現象の立場から説明



地震発生前の歪の蓄積過程:
大局的な加速と局所的な減速
(Papazachos et al., JGR 2007)



地震に関するシミュレーションの展望

□ 研究や防災に求められる一般的な課題

- 地震動の短周期成分を計算する方法の確立
- 断層運動を地震発生直後に計算する技術の開発(津波予測に)
- 統計法則と整合的な地震発生過程のモデルの構築と検証
- 地震予知や地震制御に対する意欲の高揚

□ 弊社で進める技術開発やソフトの整備

- 不均質媒質中の断層運動による地震動と地殻変動の計算ソフト
- 地震発生過程を応力変化とともにシミュレーションする技術

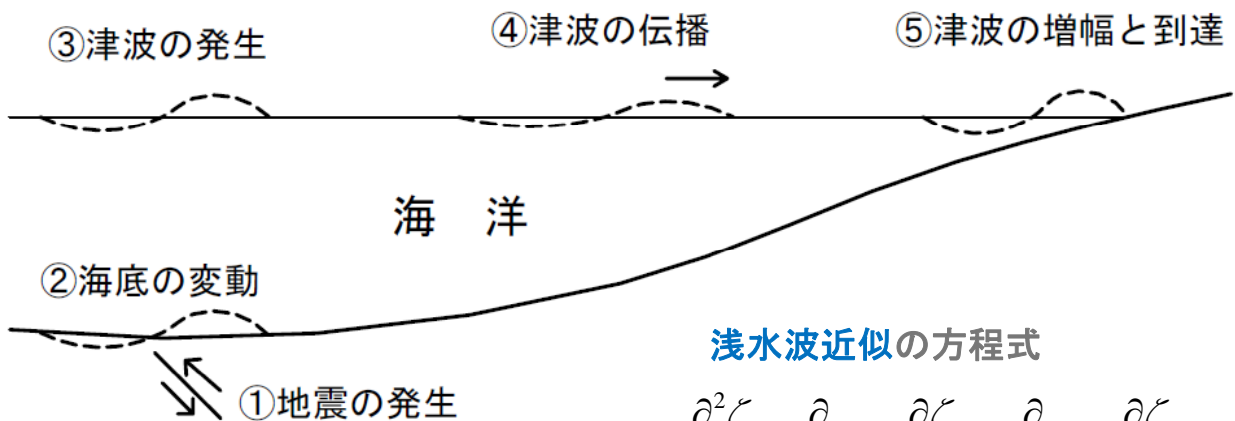
□ 個人的に進めたい研究や技術開発

- 震源のフラクタル性を表現するモデルの構築
- 現象の加速性を表現するモデルの整備と予知への応用



津波: プレート間地震では津波による災害の方が深刻

津波の伝播は水深の分布で決まる。計算の原理は単純
 津波の原因となる変動が不確定なことが最大の困難
 海岸付近での増幅や反射の効果の評価が不十分



浅水波近似の方程式

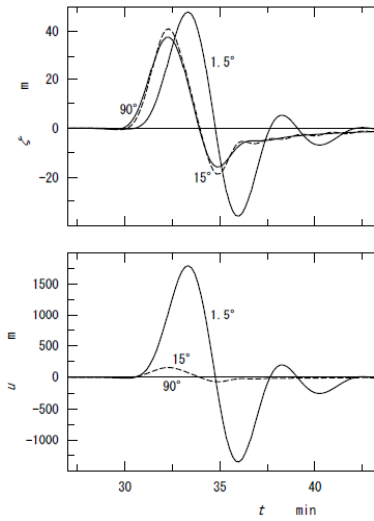
$$\frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial x} \left(gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} \right)$$

ζ : 波高、 h : 水深、 g : 重力加速度

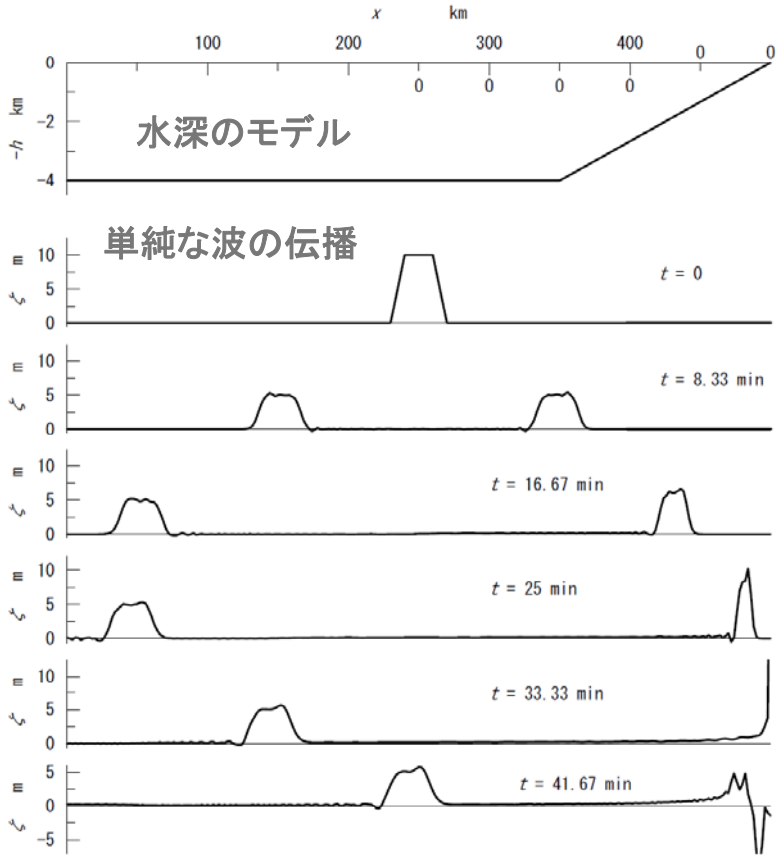


1次元の津波伝播

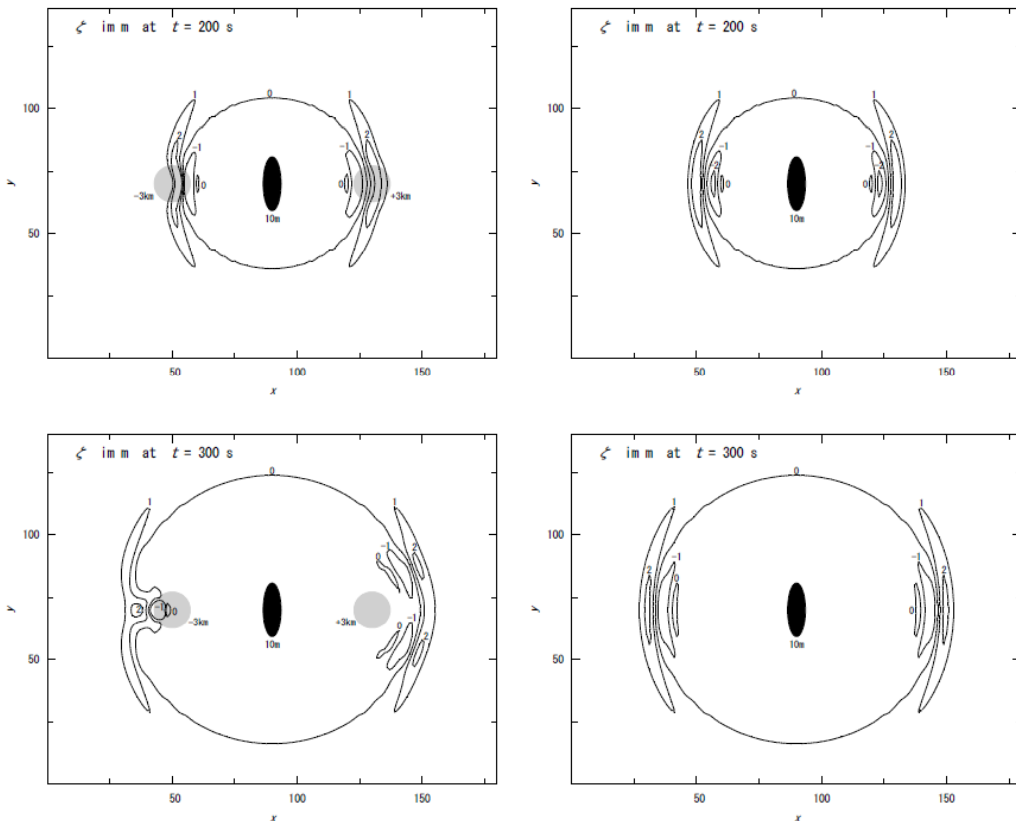
陸に達する津波の高さ



遡上する距離



津波の伝播は地形に敏感



津波に関するシミュレーションの展望

□ 研究や防災に求められる一般的な課題

- 海底下の震源など、津波発生源を正確に決める技術
- 津波予報に役立つ津波伝播の高速計算技術の確立
- 海底津波観測などを用いた津波予測手法の高度化
- 津波の遡上や陸での反射を正確に評価する技術の確立

□ 弊社で進める(たい)技術開発やソフトの整備

- 断層運動による海底変動を正確に予測するソフトの開発
- 流体解析技術を活用した湾内の伝播や陸への遡上計算ソフト

□ 個人的に進めたい研究や技術開発

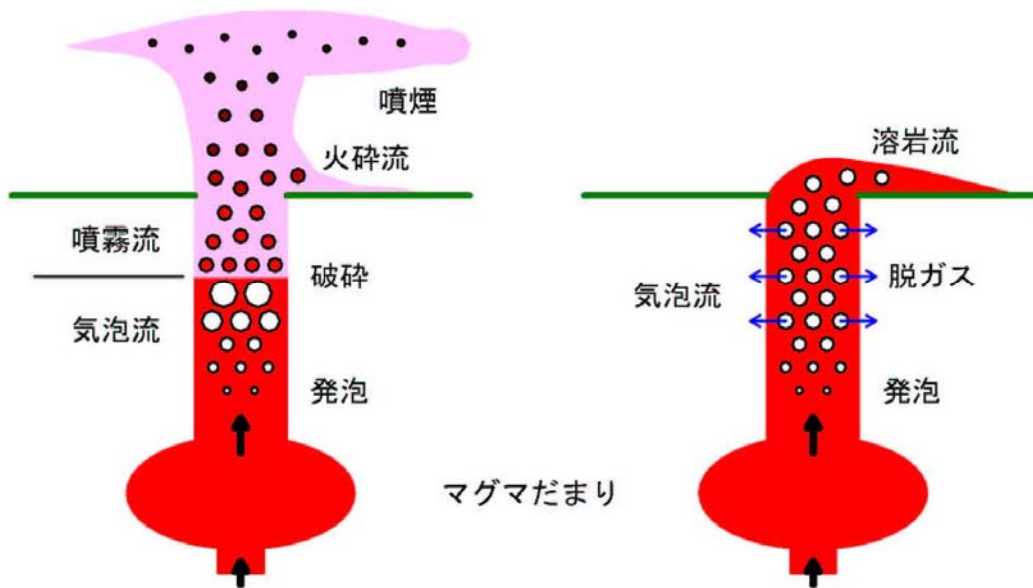
- 津波の遡上や反射を計算するための単純なモデルの追及



噴火：地下のマグマの上昇

爆発的な噴火

溶岩の流出



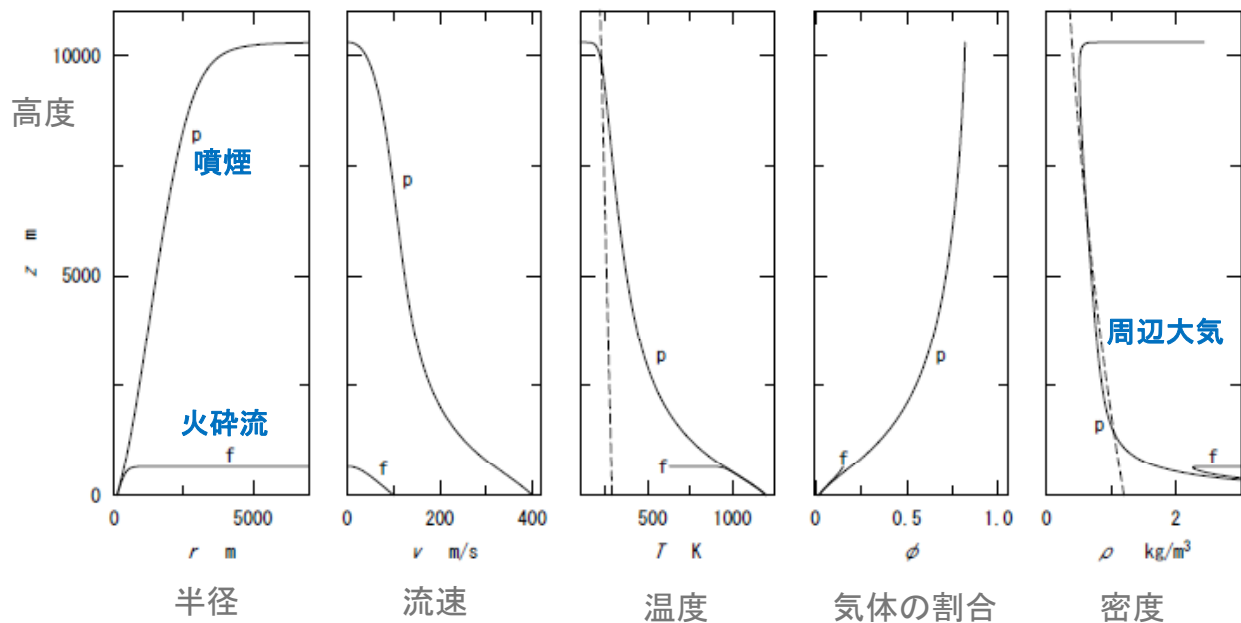
噴火様式は脱ガスの程度で決まる
脱ガスの物理機構は不明な部分が多い



噴煙と火砕流

定常1次元モデルによる解析

周囲から取り込んだ空気を暖めて、浮力を獲得できるかどうかが見られる



噴火に関するシミュレーションの展望

研究や防災に求められる一般的な課題

- マグマの脱ガスや破碎を説明する物理機構の解明
- 非定常なマグマ上昇過程のシミュレーション技術の確立
- 噴火予知の定量化に役立つシミュレーション手法の開発
- 噴煙や火砕流の予測に用いるシミュレーション技術の改善

弊社で進める技術開発やソフトの整備

- 2相流などの解析技術を用いた噴火過程の解析
- 乱流などの解析技術を用いた噴煙や火砕流の計算

個人的に進めたい研究や技術開発

- 噴火の時系列や規模の分布を説明するモデルの構築
- 噴火の時間発展を記述するモデルの開発と検証



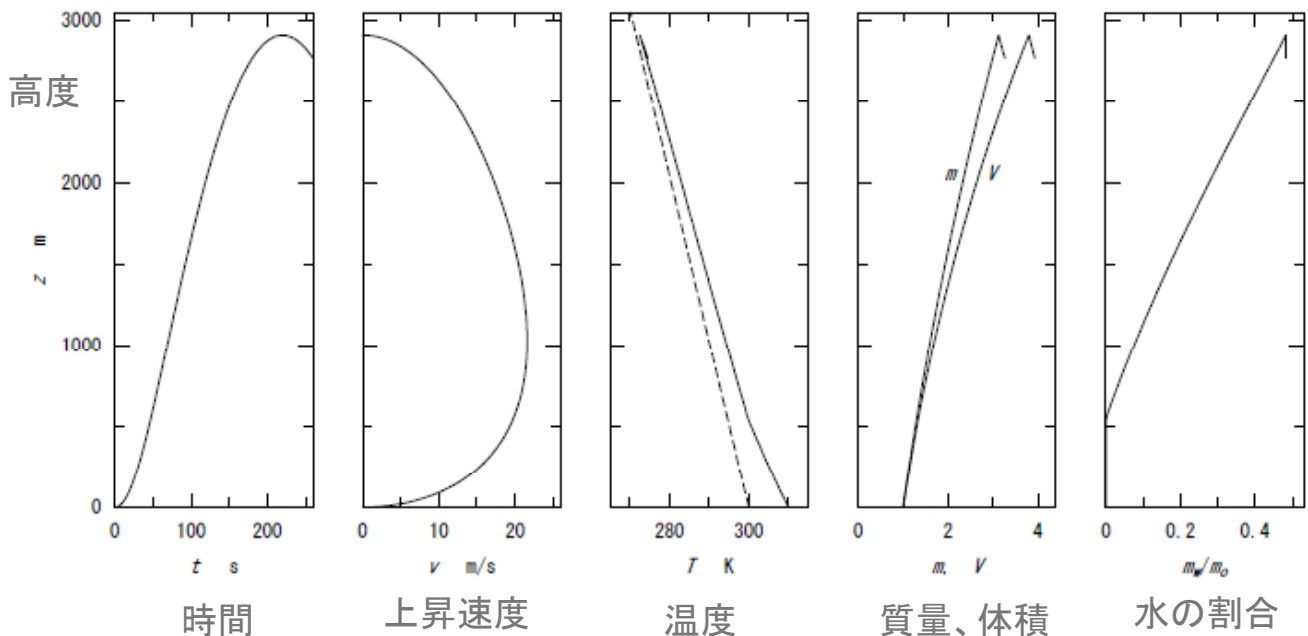
気象現象：大規模なシミュレーションが実用化

- **天気予報**：全地球的なシミュレーションで数値予報
プリミティブモデルと呼ばれる完全流体の力学に基づく
水蒸気の凝結、乱流などはパラメータ化で組み込む
メッシュサイズは全球で20km、地域の予報に5km
カオス、テレコネクションなどにより長期予測は不確定
- **気候変動**：海洋大循環も含めた気候モデルを用いる
地球温暖化に関連した大規模シミュレーションが実行
多くの要因が複雑に絡み合うため、結果には差が残る
- **地球環境の形成と変動**：生命との関連、氷期と間氷期
簡単なモデルで現象の本質をつくことが先決



上昇気流中の水蒸気の凝結過程

サーマル(球状の上昇気流)・モデルによるシミュレーション結果
取り込んだ空気を暖めて浮力を獲得。凝結の潜熱が上昇を加速



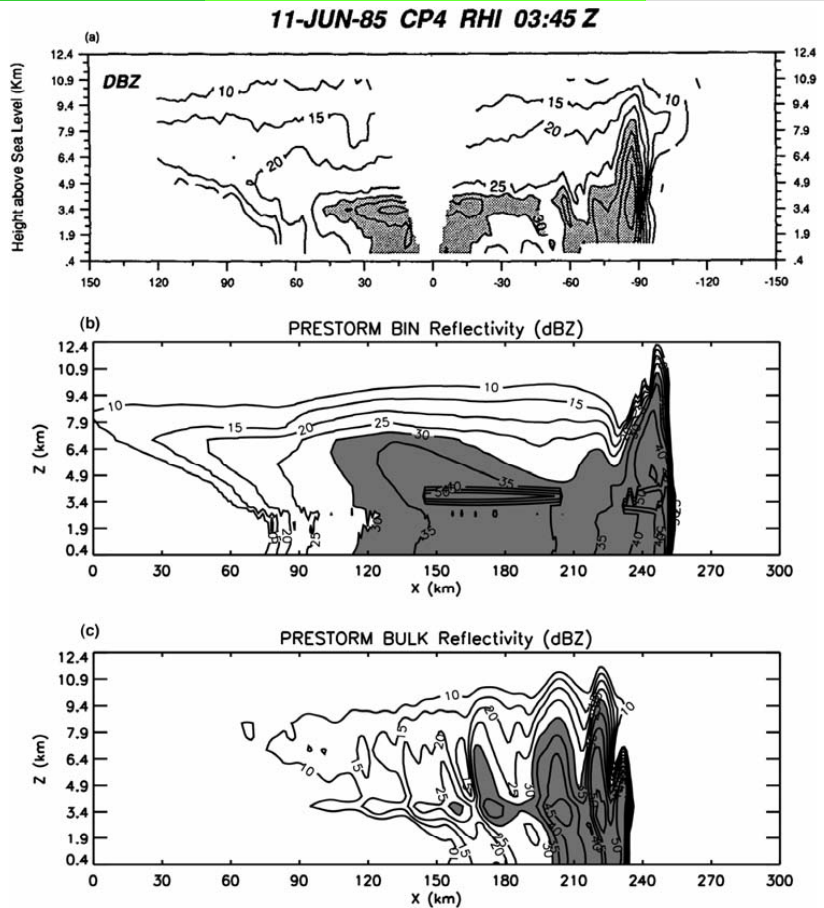
雲粒の形成過程

レーダーへの
反射率の実測

ビン・モデル

シミュレーション

バルク・モデル



Copyright ©2013 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved

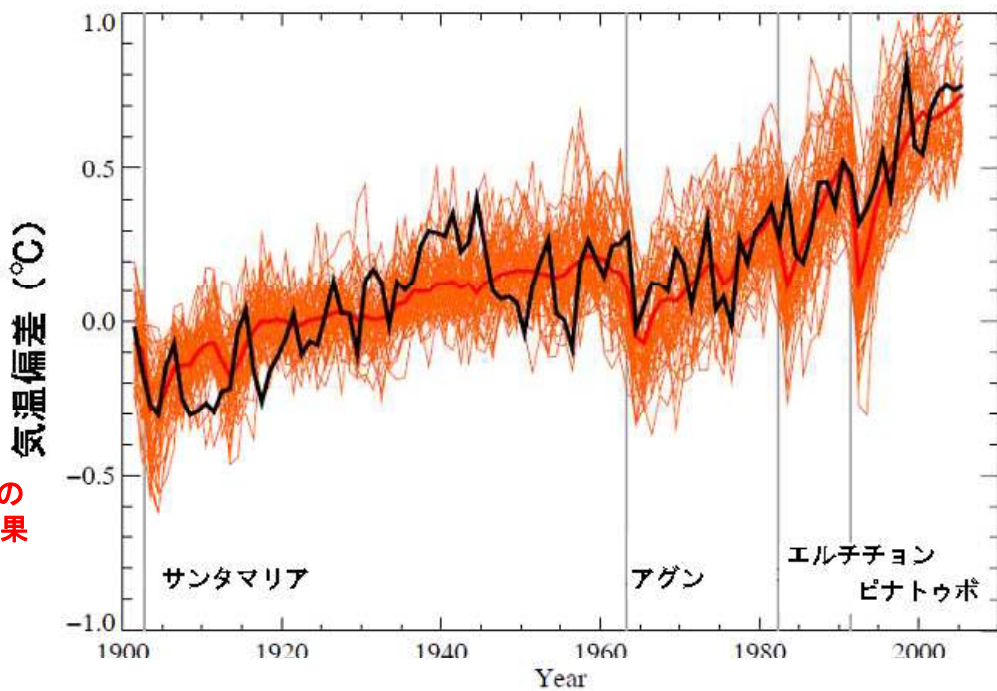
地球表層環境の温度

IPPC (気候変動に関する政府間パネル) のレポート

黒の太線: 実測
(基準は1901~50
年の平均)

細い赤線: 14機関の
シミュレーション結果

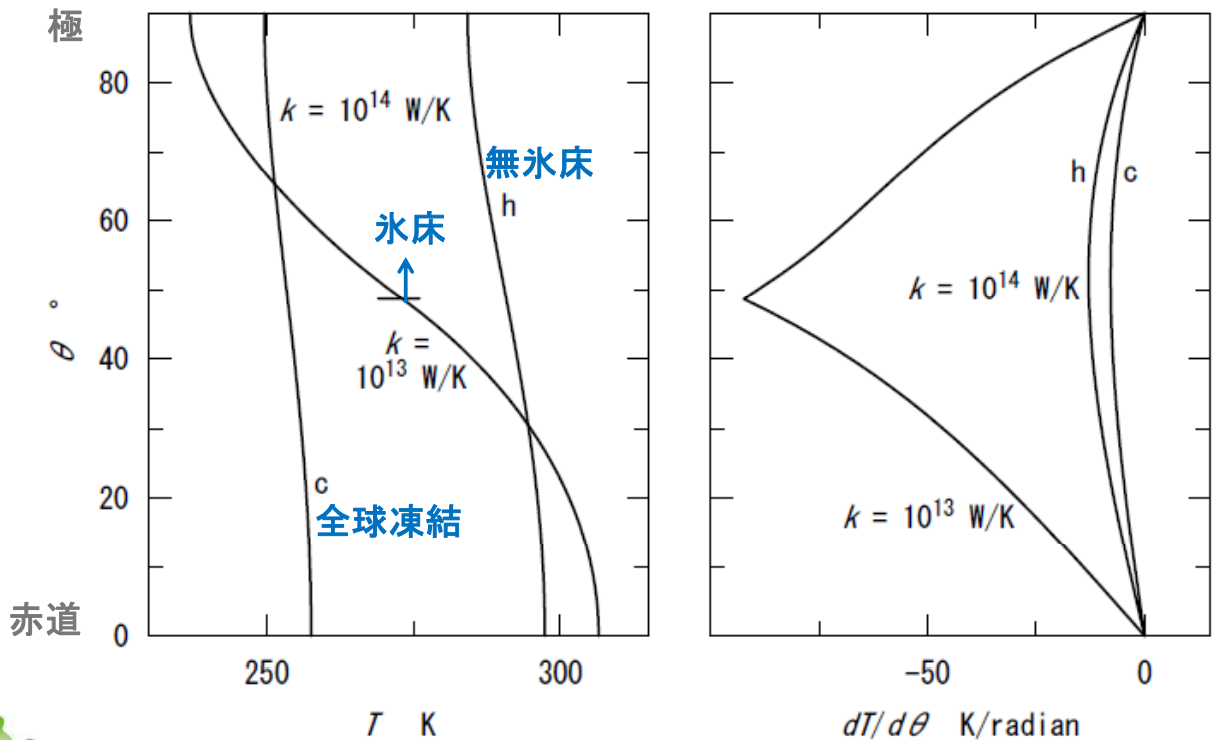
太い赤線: 平均



Copyright ©2013 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved

地球表層の温度分布:

拡散方程式を用いた簡単なモデル。 k は実効的な熱輸送係数



デージーワールド

仮想的な惑星
生命が環境の安定化に寄与

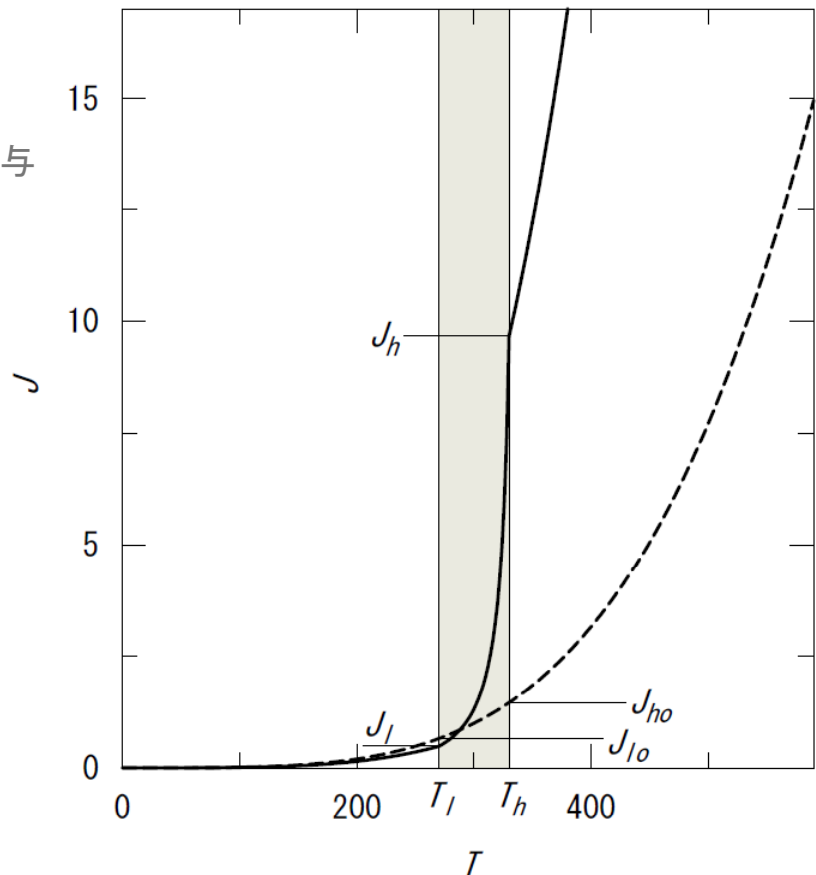
白いデージー

反射率が高い
高温に強い

黒いデージー

反射率が小さい
低温に強い

温度が上昇すると
白いデージーが増えて
太陽光の吸収を妨げる
環境の変化を抑制する



気象や環境に関するシミュレーションの展望

□ 研究や防災に求められる一般的な課題

集中豪雨、竜巻など局所的な現象の予測精度を上げる
エルニーニョ現象など、テレコネクションの理解を深める
長期的な予報の精度を向上させる方法を探す
地球表層環境の変動を評価する技術の高精度化

□ 弊社で進めたい技術開発やソフトの整備

局所的な集中豪雨や竜巻を予測する技術の開発
環境変動予測に関連する各種のシミュレーション技術の開発

□ 個人的に進めたい研究や技術開発

簡単なモデルを用いた氷期などの環境変化の解析
他の惑星などと比較した地球環境の安定性の解析



全般的な展望と願望

□ 地震予知をあきらめないで欲しい

地震のフラクタル性と正面から向き合うことが基礎
現象の加速性など、予知の手段は残されている

□ 津波や噴火には着実な技術の積み上げを

観測データを予測に最大限活用する技術開発が望まれる
素過程の理解を深めるためにシミュレーションが活用できる

□ 気象現象や環境問題は大規模計算との関係づけを

大規模シミュレーションもパラメータ化に改善の余地がある
地球環境の脆弱性の解明は簡単な解析で本質を捉えるべき

□ これらの問題に弊社も多少なりとも貢献したい

