### パネルディスカッション

牧野淳一郎 国立天文台

理論研究部/天文シミュレーションプロジェクト(CfCA)



次世代スーパーコンピュータでせまる物質と宇宙の起源と構造 2010/3/15

#### パネル世話人から頂いたお題は:

- 基礎科学と社会の関係について。スパコン開発を含めた巨大科学(加速器、望遠鏡など)を日本で行うことの意義は何か? また、このような巨大プロジェクトの優先順位をつけるための合理的システムはどのようなものか?
- 我々が使いやすい次世代スパコンや神戸の研究施設はどのようなものか?また、次世代スパコンの後にくるスパコンをどうするか?

ということで、まずは「基礎科学と社会」のほうから。

### 基礎科学と社会

といっても、例えば素粒子・原子核・宇宙の3領域で、社会に対しての貢献のありかたはそもそも違うのでは?それ以前に、科学の目指すものが違う?

- 素粒子物理:物理法則自体の探求、基本法則から素粒子の性質を明らかに
- 原子核物理: 素粒子から原子核へ
- 宇宙物理: 色々。でも、基本的には、既知の物理法則を使って宇宙の様々な現象を理解

#### 計算基礎科学、としては?

「計算」とつくと、話がだいぶ変わる。

- 基本的にどの分野でも、既知の(あるいは仮定した)物理法 則から、数値計算によって現象を理解。
- (ものすごく単純化すると)QCD から核力、核力から原子 核の構造・反応、原子核反応から天体現象、という階層構 造(重力とか相対論とかも天体では重要)
- どのレベルでも、相互作用が強く非線型・自律的構造形成とか色々なことが起きる=解析的に解けない

計算基礎科学:解析的には解けない基礎方程式を数値的に解くことで、多様な現象を理解

#### 「計算」基礎科学の社会への意義

多分、2種類ある

- 得られた知識自体が役に立つ
- 方法論、ツールが役に立つ

そんなに明確に区別できるわけではないが、、、 以下、宇宙物理を例に。

# 知識の例:核の冬

核戦争によって発生し、成層圏まで巻き上げられる大量のエアロゾルが、太陽光をさえぎることで極端な気候変化を起こし、生態系、社会に壊滅的な打撃を与える、というシミュレーション予測

- 提唱者: Carl Sagan (「コスモス」の)他、惑星科学者。 元々、火星や金星大気の研究をしていた。火星のダストス トームとかを研究していた。
- 惑星大気の研究で得られた、非常に広い範囲での気候モデル(例えばエアロゾル量が現在の大気より何桁も大きいとか)を、地球の気候に適用
- 「限定」核戦争でも、全地球的・壊滅的な影響をもちえる ことを指摘

## 知識の例:核の冬

核戦争によって発生し、成層圏まで巻き上げられる大量のエアロゾルが、太陽光をさえぎることで極端な気候変化を起こし、生態系、社会に壊滅的な打撃を与える、というシミュレーション予測

- 提唱者: Carl Sagan (「コスモス」の)他、惑星科学者。 元々、火星や金星大気の研究をしていた。火星のダストス トームとかを研究していた。
- 惑星大気の研究で得られた、非常に広い範囲での気候モデル(例えばエアロゾル量が現在の大気より何桁も大きいとか)を、地球の気候に適用
- 「限定」核戦争でも、全地球的・壊滅的な影響をもちえる ことを指摘

ひょっとすると、人類を救ったのかもしれない

#### もっともらしくいうと:

宇宙物理:他の自然科学ではあまり考えないような、極端に広い範囲を変化する物理量を扱う

#### その結果

- 予想もしていなかった、重要な知識が得られる 「こともある」
- どこから重要な知識がでてくるか予想できるような気がしないので、おそらく、色々やっておくくらいしかない。

#### もっともらしくいうと:

宇宙物理:他の自然科学ではあまり考えないような、極端に広い範囲を変化する物理量を扱う

#### その結果

- 予想もしていなかった、重要な知識が得られる 「こともある」
- どこから重要な知識がでてくるか予想できるような気がしないので、おそらく、色々やっておくくらいしかない。

#### つまり:

このような巨大プロジェクトの優先順位をつけるための合理的システムはどのようなものか?

あんまり答はない。でも、やってないと人類が滅亡するかも。

#### もっともらしくいうと:

宇宙物理:他の自然科学ではあまり考えないような、極端に広い範囲を変化する物理量を扱う

#### その結果

- 予想もしていなかった、重要な知識が得られる「こともある」
- どこから重要な知識がでてくるか予想できるような気がしないので、おそらく、色々やっておくくらいしかない。

#### つまり:

このような巨大プロジェクトの優先順位をつけるための合理的システムはどのようなものか?

あんまり答はない。でも、やってないと人類が滅亡するかも。 (基礎科学やってなければ核爆弾もなかったかも、、、)

### 方法論・ツール

計算基礎科学の場合、計算科学全体への貢献は明らかだと思う (手前味噌かも)

- 計算機アーキテクチャ
  - 分散メモリ並列計算機:元々 QCD 計算用に、計算機 科学の専門家では元々はなかった人が始めたもの
    - \* Caltech HyperCube, Columbia QCD machines, ...
    - \* APE
    - \* QCDPAX, CP-PACS
  - 専用計算機・アクセラレータ
- 数值計算法
  - 例:ツリー法、その並列化方法、高次シンプレクティック積分法、

• • •

#### 日本でやることの意義

国際競争力がどうとかいう話を別にして:

- 何が上手くいくかはわからないので、アメリカでやってることと違うことを誰かがするのは重要。それは日本の役割では?
  - 数値風洞・地球シミュレータ
- 素粒子・宇宙では健全な国際競争が大事。ものすごいお金がいるわけでなければ、、、

### 次世代スパコンへの希望・その次への展望

次世代への希望: 大規模シミュレーションをすると、

- 大規模なデータ
- 大規模なデータの解析・可視化

が必要になる。現在の天文台でのディスク利用状況から外挿すると1プロジェクト 1-10PB。

- 神戸に置くなら、全体で数百 PB+解析・可視化用計算機 との高速結合 30 PB では足りない!
- 戦略拠点、他センターに置くなら、実効 100Gb/s 級のネットワーク (1PB/日程度) 神戸には Tbs クラス必要。 40Gbps では足りない!

神戸にデータ置くほうが現実的?

### 次々世代への展望

#### 展望の前に:

- 地球シミュレータ、今回の理研次世代プロジェクトから、何を教訓とするのか?
- 今回の最大の教訓: 10年も間があいてはいけない
- 2番目の教訓 (多分): もうちょっと色々なアプローチを試 すべきだった。

## もうちょっと細かい教訓

- 「スパコン開発が計算機開発・半導体技術を推進」という考え方は時 代遅れ
  - N, F 共に半導体製造からは事実上撤退
  - 汎用プロセッサなら x86 に勝てない(Intel 自身すら勝てない)
  - ベクトルプロセッサは全く時代遅れ
  - つまり: アクセラレータ以外の解はそもそもなかった
- とはいえ、「アクセラレータが正解」だったのは5-10年前。5-10年先にできるものが何であるべきかは別問題。例えば、 TSV とか Proximity Communication とかが実用になるなら、、、
- そういう要素技術開発からやるのはスパコン開発としては無理

## 計算機開発への提案

- 今すぐに始めないと手遅れ(というか、既に手遅れ)
- スパコン用プロセッサが下方展開というのは非現実的という前提で考えて
- 5年後、10年後の x86 プロセッサより価格性能比・電力性 能比がよいものを、 1-2世代遅れの技術で作れるアプロー チを
- GPGPU等 に期待する(他力本願)のは難しいのでは

#### ちょっと脇道: GPGPU の将来は?

nVidia の場合: アーキテクチャ  $G80~(2006) \rightarrow GF100~(2010?)$  ものすごく沢山の「改良」(複雑化):基本的に、通常のマルチコアプロセッサに向かう方向

- 倍精度強化
- 共有 L2 キャッシュ
- まともな MIMD 実行

アクセラレータには確かによさそうだが、GPU としては??? なんだかどんどん出荷が遅れている

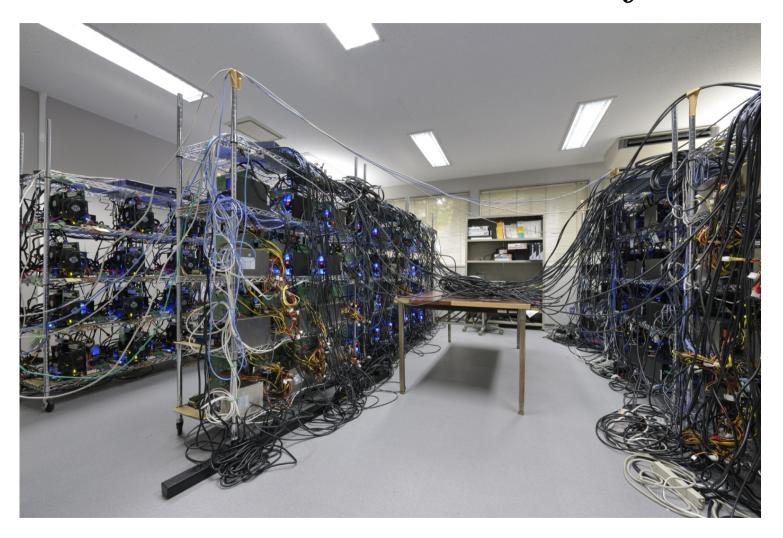
#### GRAPE の場合

#### 開発において:

- 専門知識: もちろん重要 (GRAPE-1 の時から朴さんに は本当にお世話に、、、、)
- ハードウェアアーキテクチャ、ソフトウェア: 計算機科学 の「常識」が邪魔をすることも。

特別に問題が簡単だから(特に簡単な問題をやってるから)という面もないわけではない。

# GRAPE-DR cluster system



### ではどうすればいいのか?

素粒子・宇宙では「従来の通り」でよいのではないか?

- 素核宇宙分野の研究者自身がアーキテクチャ詳細から設計 する
- 計算機科学の研究者とはもちろん協力。その協力のありか たは色々スペクトルがあってしかるべき
- (お金があるなら)製造は外注

一つの問題:開発費用

カスタム LSI の初期コスト: 現在 10-20 億円。科研費では

困難

#### 次々世代への具体的提言

- 複数のアーキテクチャ・アプローチでの研究開発を可能な 限り早くスタートさせることがもっとも重要
- これまでの達成から外挿すると、計算基礎科学分野での計 算機開発「にも」いくらか投資をしておくと結構見返りは 大きいかも
- 半導体開発の初期コストを下げる方向の研究に投資するの も重要