高度教養セミナー理学部惑星学入門 計算惑星学研究教育分野

牧野淳一郎・斎藤貴之

概要

- 計算惑星学研究教育分野ではどんなことをしているか
- 卒研はどんなふうにやるか
  - 牧野 研究紹介
  - 斎藤 研究紹介

スライド**: jun.artcompsci.org/talks/index-j.html** にあるはず

計算惑星学ではどんなことをしているか

とりあえず、牧野はどんな人か**:**
学歴

1985/3　東京大学教養学部基礎科学科第二卒業

1987/3　東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻修士課程修了

1990/3　東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻博士課程修了

職歴

1990/4- 東京大学教養学部情報図形科学教室 助手

1994/4- 東京大学教養学部情報図形科学教室 助教授

1999/4- 東京大学大学院理学系研究科天文学専攻 助教授

2006/6- 国立天文台理論研究部 教授

2011/4- 東工大理学研究流動機構 教授

2012/4 理化学研究所 計算科学研究機構 粒子系シミュレータ研究チーム
チームリーダー (併任)

2013/1 東京工業大学地球生命研究所教授

2014/4 理化学研究所 計算科学研究機構
エクサスケールコンピューティング開発プロジェクト
副プロジェクトリーダー

2016/3 神戸大学理学研究科惑星学専攻 教授

研究グループ

神戸大学

- 教員
  - 牧野
  - 斎藤 (准教授)
  - 野村 (特命助教)、細野 (特命助教)
- 学生
  - **M2:** 塩川、清水、橋本、王、宮城、内藤
  - **M1:** 山口、山岡、堀口
  - **B4:** 大西、金本、神野、吉村

理化学研究所・計算科学研究センター

- (今年度で店じまい)

研究グループ(つづき)

東工大

- 学生 (東大)**: D3** 石城

研究室セミナーには東大天文藤井研メンバー、東大駒場船渡さん、等が参加

研究プロジェクト

「富岳」成果創出加速プログラム「宇宙の構造形成と進化から惑星表層環境変動までの統一的描像の構築」
宇宙の大規模構造、銀河形成、星・惑星形成、固体惑星進化、表層環境、太陽圏物理等を大規模計算機シミュレーションで研究するプロジェクト。神戸大学の他東大、東工大、名大、京大、阪大、岡山大学等が参加

NEDO「高効率・高速処理を可能とする **AI** チップ・次世代コンピューティングの技術開発」**FPGA IP** と可変精度演算コアの融合による超低消費電力エッジヘビーコンピューティング向け **SoC** の研究開発 **(**株主会社 **PFN** との共同研究**)**

国際共同研究
アメリカ・プリンストン高等研究所、オランダ・ライデン大学他色々

研究はどんなことをしているか

- 主に理論・シミュレーションによる天体形成・進化の研究
  - 大規模構造の形成・銀河形成
  - 銀河中心・球状星団の力学進化
  - 惑星形成
- シミュレーションのための計算アルゴリズムの研究
- シミュレーションのための計算機の開発

銀河合体
1　2　3
(詳しくは斎藤さんのスライドで)

理論・シミュレーションによる天文学って？

「公式の」説明

色々な天体、あるいは宇宙全体が、どのようにして生まれ、現在の形になっているか、さらにこれからどうなるのかを知りたい

もうちょっと実際のところ

観測が進んで見つかる色々なものを「理解」したい

理論研究のやり方

色々なスタイルがある。

- 新しい観測結果に対して説明する理論モデルを作る
- 昔からある大問題に取り組む
- 統一的な理解を構築していく
- その他

どれが良い、というものでもない (ノーベル賞狙いなら最初の)。

シミュレーション研究

シミュレーション: 数学モデルの方程式に対して、数値解を与えること

- 利点: 解析的に解けない方程式でも答はでる
- 問題点: なんでも解けるほど計算機は速くない。そのために答が間違ってる (信用してはいけないところの答を使ってしまっている) ことも多い。

なので、「より信用できる答を出す方法の研究」は極めて重要なテーマになる。

- 研究者個人にとって: 他の人と戦うための強力な武器
- 分野全体にとって: 確実にできることが広がる有用な成果

というわけで、方法の研究を重視してきた。他の人より良い道具をもってるとできる研究はいくらでもある。

卒研はどんなことをするか？

基本的には「応相談」
最近の人の例 (東大・東工大他、**M1** も含めて)

- 惑星形成過程の **N** 体シミュレーション
- 巨大衝突による月形成のシミュレーション
- 原始月円盤からの月形成のシミュレーション
- 分子雲衝突による星形成過程のシミュレーション
- 球状星団の力学進化シミュレーション
- 高精度粒子法流体計算スキームの開発
- 深層学習用プロセッサによる行列乗算
- **DEM** 法による天体の衝突過程のシミュレーション
- 銀河中心星団の力学進化の **N** 体シミュレーション
- 惑星リングのダイナミクスの **N** 体シミュレーション
- 銀河円盤のガス**+N** 体シミュレーション

来年度のテーマの例

- 普通の人向け
  - 惑星形成
  - 月形成
  - 銀河円盤の力学
  - 微惑星等の衝突
- 算数が好きな人向け
  - **SPH** 流体計算法の改良
  - 磁気流体力学スキームの開発
- 計算機が好きな人向け
  - 深層学習向けプロセッサでの多体問題シミュレーションコードの開発
  - 富岳での惑星形成シミュレーション

来年度のテーマの例(つづき)

- 人工知能・深層学習とか
  - 深層学習向けプロセッサのアプリケーション・ミドルウェア開発
  - 深層学習向けプロセッサハードウェアのシミュレーション

使う計算機**:** 研究室の数値計算サーバー、大規模クラスタ、国立天文台スパコン、「富岳」他

卒研の進め方は？

これも基本的には「応相談」
大体の方針**:**

- とりあえずテーマ **(**分野くらい**)** を決める
- 関係する基礎的なことの勉強と新しい研究のサーベイを **3-6**ヶ月くらいする
- で、その辺で、もうちょっと具体的にやることを決める

というような感じ。

週の日程は、水曜午前**:**グループ全体セミナー、午後**:**神戸大学学生セミナー。
午後は輪読**+**研究進捗報告

牧野の部屋**:3** 号館 **307**
研究室 **HP: http://www.jmlab.jp**
質問・相談はいつでもどうぞ。メイルが確実です。
jmakino -at- people.kobe-u.ac.jp

方法の研究等

1. シミュレーション用のプログラムを書く (デバッグする)
2. シミュレーション用の新しい計算方法を研究する
3. シミュレーション用の計算機を作る
4. シミュレーション用の計算機のための予算をなんとかする

プログラムの開発

- 最近どんどん計算機が使いにくくなってきているので大変
  - 沢山の計算機の上での並列プログラム
  - **GPGPU** の利用、**CPU** 内複数コアの利用、キャッシュの有効利用、、、その他もろもろ
- 分野によっては、多数の研究者からなるチームでプログラム開発
- 方法やできる研究が制限される危険性がある。あんまり良い方向ではない

新しい計算方法の研究

- 計算機シミュレーションはそんなに長い歴史はない (せいぜい 70 年)。
- なので、方法はまだまだ未熟。改良の余地はいくらでもある
- 数学的な定式化、、物理的モデル、計算アルゴリズム、と様々なレベルでの研究がある。

これは普通の理論研究に近い進めかた。解決したい問題があって、色々考えてアイディアをだして、それが実際に上手くいくかどうかさらに検討、という感じ。
アイディアはあとから見ると当たり前に見えるので、どういうふうに思い付いたのかよくわからない。

計算機を作る話

基本的アイディア—近田提案

1988 年、天文・天体物理夏の学校

88/11/2

「計算機を使う，計算機の技術を使う」

近田義広（国立天文台・野辺山）

観山さんは理論の立場から見ると，現在の日本ではスーパコンがどんどん使えるからイニシアチブをとる良い機会だと話されました．私は，その素晴らしい計算機を作り出す技術をうまく使いこなし，天文に応用すれば，計算機の利用者に止まる場合よりもっと大きな成果を期待できるぞ！ということをお話しします．

- 計算機買うんでなくて作れ**!**
- 近田さんは電波天文学の専門家。データ処理用の計算機を開発した。

〔昨日，今日，明日〕

先ず，Ｍ１，Ｍ２の若い人達に話す時の定石の昔話から始めます．約２０年前の１９６０年代の末，三鷹の天文台に口径６ｍのミリ波望遠鏡が作られ，後の野辺山の望遠鏡の雛形が生まれた時，その制御とデータ収集はOKITAC4300と言うミニコンが受け持ちました．そして今，６ｍ鏡は水沢に運ばれてＶＬＢＩに使うために化粧直し中．今度の制御用計算機は日電のパソコンPC9801VMです．表１に見るように，この２０年間に記憶容量も演算速度も約４桁良くなっています．つまり，同じ予算でも１０年たてば１００倍の仕事をさせられるようになったと言うことです．これは天文台と言うローカルな世界だけのことではありません．事実，図１〔１〕の並列計算機の並列度の推移にみるように１０年で１００倍というのはかなりよいestimateです．但し，これは重要なことなのですが，同一の構造，同一の使われ方，つまり同一の製品系列の中での進展はこんなに早くありません．例えば野辺山の汎用計算機についてこの４年間の価格／性能比を見るとせいぜい２倍しか良くなっていません．つまり計算機（の技術）の使い方を常に見直して，自分の問題に適した構造の機械を使う（作る）ようにし，かつその上で解き易いように問題を立て直すことがないと「１０年で１００倍」を生かした人に比べ１０倍分は立ち遅れることになります．

- 計算機は **10** 年で **100** 倍速くなる
- 同じ製品系列だと **10** 倍しか速くならない

全体の値段　∝　性能　∝　装置の大きさ

でもあります．表２に見るように上記３者の比例関係は大体成り立っているように見えます．しかし本当に価格／性能比は一定なのだろうか？　もしそうなら利用者は利用者に徹し，計算機システムの構成に気を使ったり，自分で情報処理機を作ったりしようとなどせずに，与えられたお金でＣＰＵ時間を買っていれば良いことになります．誰もが平等にお金の額に相当する「性能」を手にするのだから，残された仕事は金を取ってくることだけです．

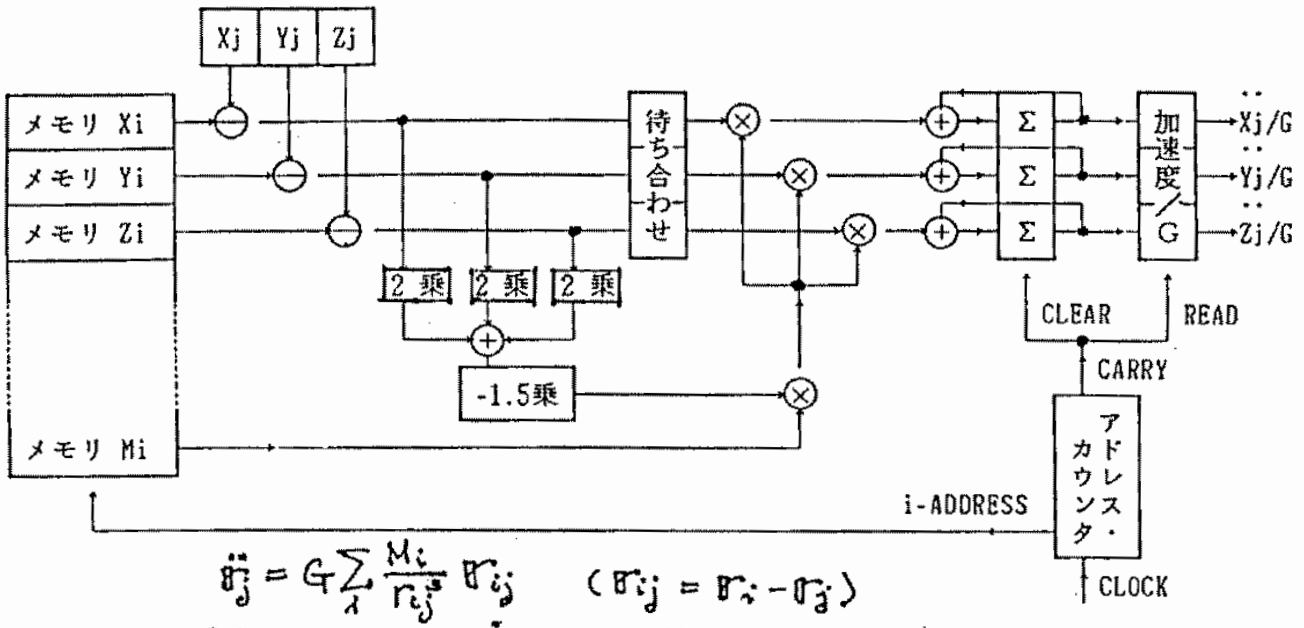
そうではありません．汎用の大きな計算機は，出来るだけ広い範囲の利用者の平均的な要求を同時に満足させる「性能」を考えて作ってあります．ですから汎用「性能」を考えた場合は上の比例式は成り立っていますが，特定の範疇の性能を取り出すと比例関係は成り立ちません．だから，問題は自分の課題に対する「性能」とは何か？それを一番安く（容易に）手に入れるにはどうしたらいいか？です．例えば野辺山クラスの計算機１台とＥＷＳ(engineering work station)４００台とどちらがいいか？　もし演算速度だけを問題にするなら，ＥＷＳを４００台の方が良いでしょう．またＦＦＴの速さだけなら野辺山のＦＸはスーパコンピュータに比べて２桁以上速くて（表３）値段は１桁安いのだから，その方がいいに決まっています．汎用か専用かでこんなに性能／価格にひらきがでるのは一体どうしてなのでしょうか．

- 専用化すれば**2－3**桁価格性能比をあげられる

具体的イメージをつかんでもらうために，例として図２にパソコンにつないでN体問題の重力を計算する回路の概念を示します．１０ＭＨｚクロックで間口がパラレルのパイプライン式で３２ｂｉｔ固定小数点で計算させるとすると，市販のＩＣで２００個　０．１立方米位の高で，２５０ＭＯＰＳ位のスーパコンピュータ並みの性能が得られるでしょう．大体，１万体問題を１万ステップ１日に計算できる勘定です．値段としては自作で４００万円位でしょう．もし億円オーダーの金をかけて，大型計算機につなぐようなボンとしたものを作る場合は，高性能をねらって専用ＩＣを作り，ＩＣ５０００個　４ｂｙｔｅ浮動小数点演算，２０ＭＨｚクロック，２０立方米，１００ＧＦＬＯＰＳ，１０万体問題を４万ステップ１日に計算できる．（但し，近田電子製作所の見積もりは甘いと言う声もあることを付け加えます）．

- 多体問題なら **400** 万円 **250 Mflops**
- 数億円なら **100 Gflops**
- 「但し、近田電子製作所の見積もりは甘いという声もあることを付け加えます」

近田さんによるパイプライン概略図



$$\ddot{\mathbf{r}}_j = G\sum_i \frac{M_i}{r_{ij}^3}\mathbf{r}_{ij} \qquad (\mathbf{r}_{ij} = \mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j)$$

+, −, ×, 2乗は1 operation, -1.5乗は多項式近似でやるとして10operation 位に相当する.
総計24operation.
各operation の後にはレジスタがあって, 全体がpipelineになっているものとする.
「待ち合わせ」は2乗してMと掛け算する間の時間ズレを補正するためのFIFO(First-In First-Out memory).
「Σ」は足し込み用のレジスタ. N回足した後結果を右のレジスタに転送する.

図2. N体問題のj-体に働く重力加速度を計算する回路の概念図.

近田さんによる見積もり

- **32** ビット固定小数点
- **IC 200** 個
- 体積 $\mathbf{0.1m^3}$
- コスト **400** 万

杉本さん(私のボス)の反応

- **11** 月に近田さんの話を聞きに野辺山に
- 川合先生 (慶応)、牧野、伊藤君が同行
- 近田さん、奥村さん他で話を。

「近田さんが色々教えてくれそうだから、やってみよう」

当初私が考えたこと

- 実は近田提案のままでは実用にはならない
- **Barnes-Hut** ツリー法、独立時間刻み法といった高速アルゴリズムに対応する必要あり
- どちらも対応可能
  - ツリー法**:** アルゴリズムの変更と、通信の高速化
  - 独立時間刻み**:** アルゴリズムの変更と、パイプライン構成の変更

88年秋時点での杉本プラン

- 戎崎 (杉本研出身、当時神戸大助手) を回収して実行隊長にする
- 最初のハードウェア開発は伊藤に (当時大学院に合格したばかり)
- 牧野 (この時 D3) に何かやらせるつもりがあったのかどうか不明 (聞いたことがないので)

89年春時点でのハードウェア開発プラン

GRAPE-1 (最初はこういう名前ではなかったけど**):**

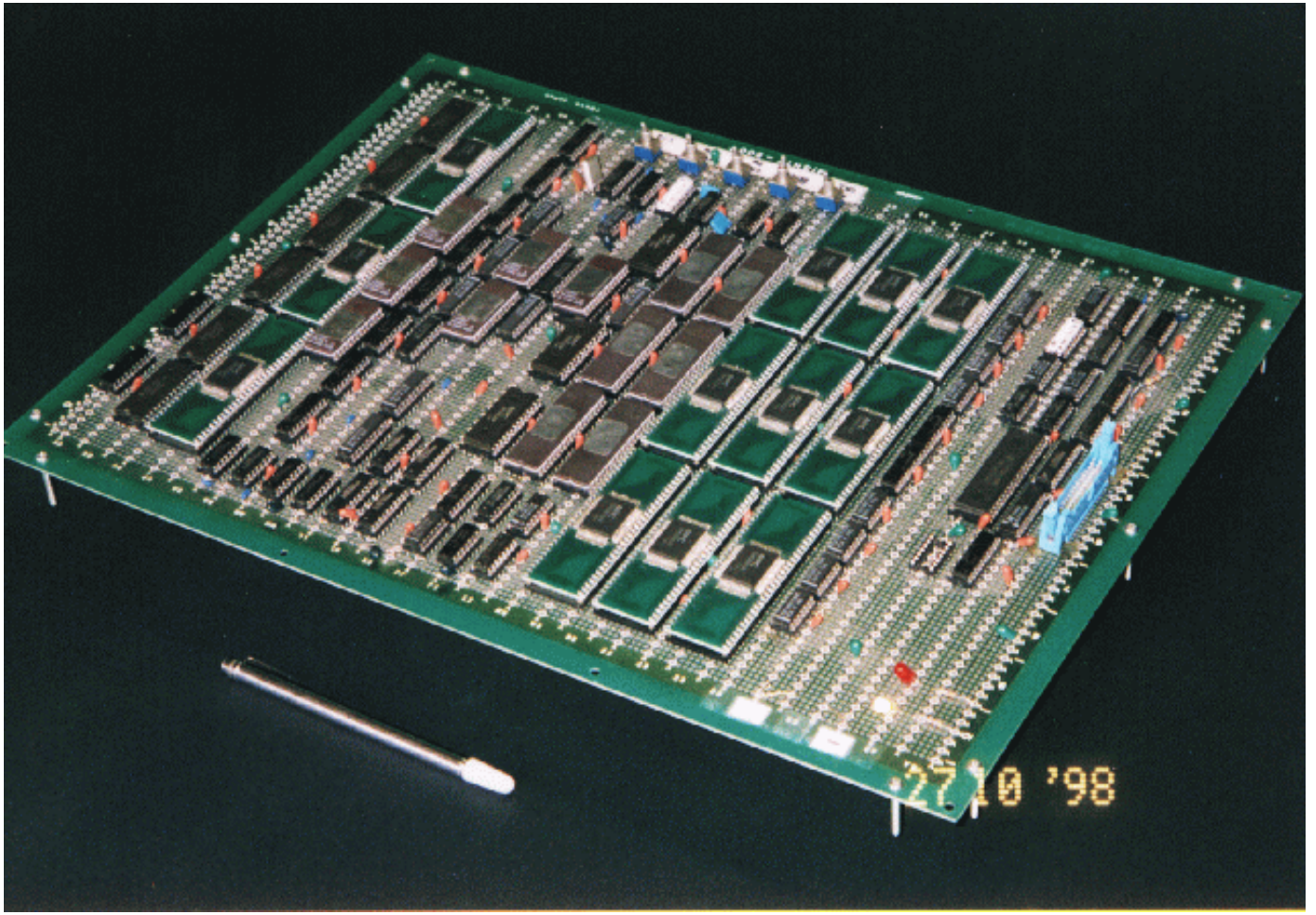
- とにかく、可能な限り簡単なハードウェアで重力計算パイプライン的なものを実際に作る
- 実用になるかどうかは気にしない。なので、語長短くしてハードウェア簡単に
- これは伊藤担当

GRAPE-2

- 本格計算用
- 座標・積算倍精度浮動小数点、中間結果単精度
- 市販の浮動小数点演算 **LSI** を使う
- 予算**:** 天文台の共同開発研究に応募
- 戎崎担当

杉本の神の声で決定

GRAPE-1(1989)



GRAPE-1 当初プランとの違い

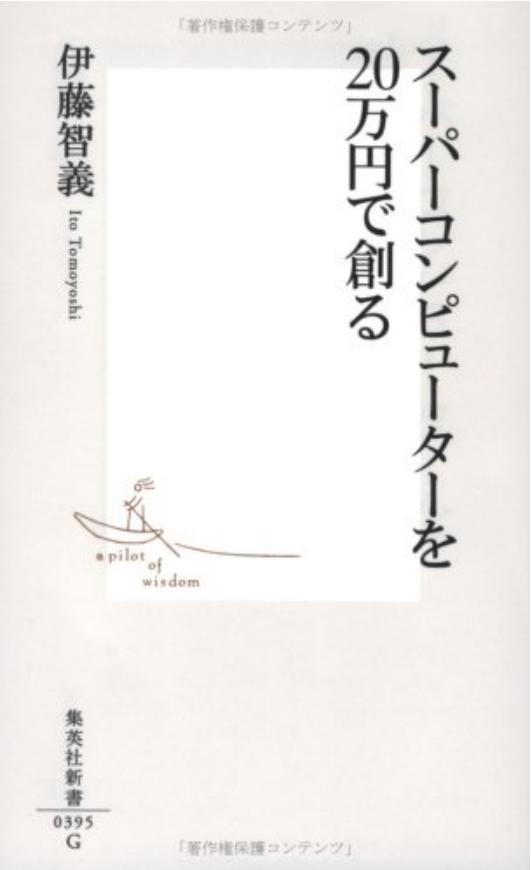
全部短い語長ではなく、座標表現、加速度の積分は固定小数点でそれぞれ **16, 48** ビットにした

- 掛け算しないところは語長長くてもハードウェアは (それほど) 大きくならない
- **2** 粒子間の力の必要な精度は低い。多数の粒子があることで統計的に高い精度が出れば十分 (な場合がある、ということを理論的・実験的に示せた)。

ということで、(ツリー法には対応しないが) ある程度サイエンスに使えた。

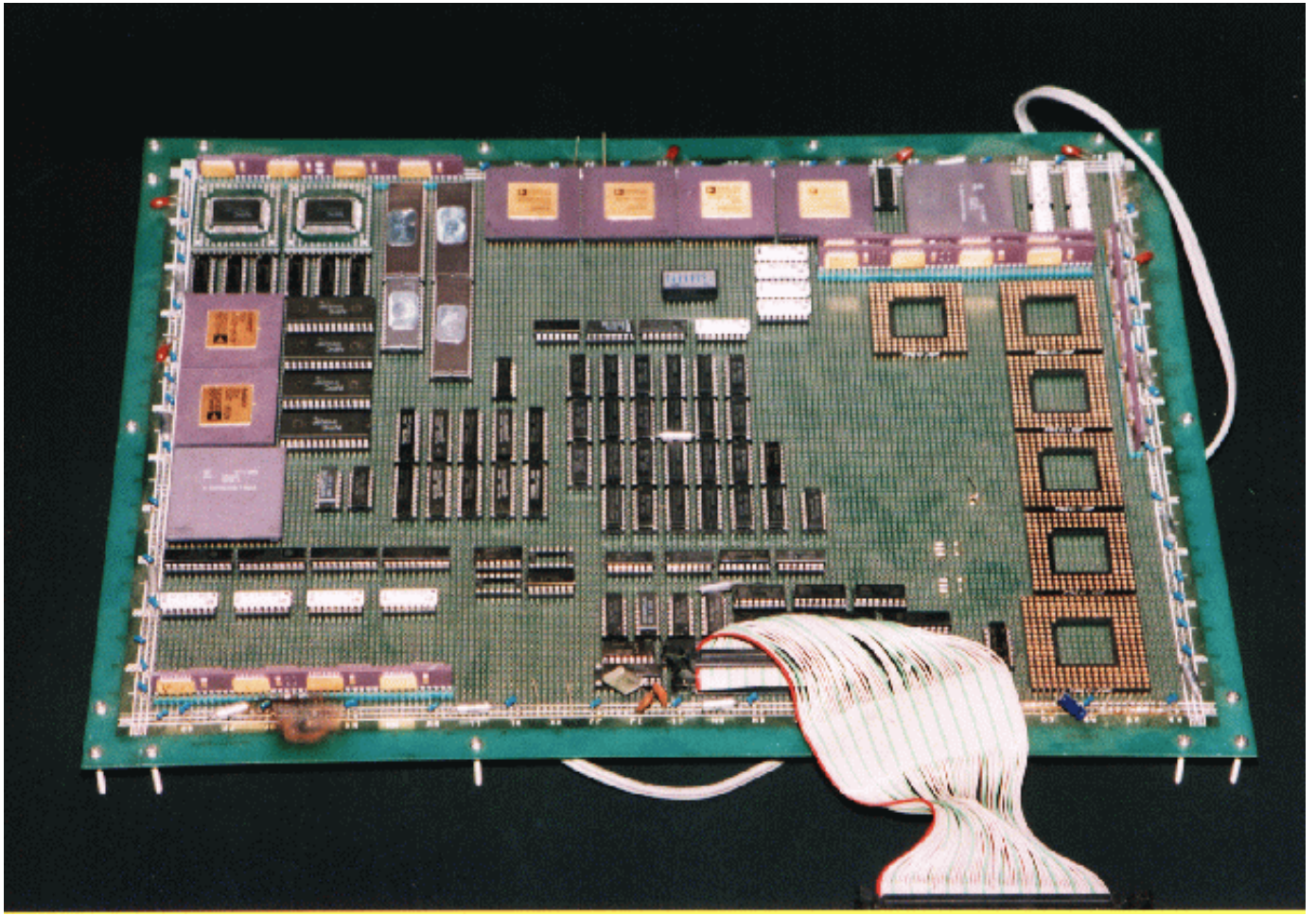
- 銀河合体による楕円銀河の形成 (奥村ら)
- 「激しい緩和」(船渡ら)

伊藤君の本



- 伊藤君はコミック「栄光なき天才たち」の原作をやってた
- **GRAPE** プロジェクトを振り返る本も出した
- どんなふうに開発進んだか、は本を参照

GRAPE-2(1990)



GRAPE-2 開発の進め方

- 当初戎崎・牧野で検討進めた。使うチップ等の選定・購入は秋頃にはおわっていたはず
- 並行して概要設計も大体出来ていた
- 冬には **GRAPE-1** が完成して経験を積み時間もできた伊藤が詳細設計以降を引き取った (伊藤の提案)
- **90** 年春には完成

GRAPE-2 は多様なサイエンスに使われた。例**:**

- ブラックホールを持つ銀河同士の合体 (戎崎ら)
- 微惑星系の緩和・暴走的成長 (井田)

90年始め頃の将来構想

- **GRAPE-2** を **LSI** 化し、**1000** 個以上並べてテラフロップスシステムを作る
- これで球状星団の進化計算。重力熱力学的振動を実証する

(杉本・牧野には強い思い入れがあった、、、**)**

まあ、できれば他にするサイエンスも沢山あるだろう、的なノリ。

90年度初めの人事

- 何をどうしたのか知らないが助手ポストが宇宙地球科学教室で1、基礎科学科第二で2、図学教室で2空いた。
- 牧野は色々考えて図学教室にいれてもらった。
- 宇宙地球には奥村、基礎二の1つに井田
- 卒研生が2(基礎二)+1(天文教室)

90年度初めのプラン

- 科研費 (一般 B だったはず)+もうちょっとで計算精度低い LSI 作る
- 特別推進申請。あたったら衝突系用テラフロップス
- 学生プロジェクト: ツリー法ができる GRAPE-1 改良

GRAPE-3 — 低精度計算用 LSI

- 大雑把には **GRAPE-1** パイプライン (但し、大きな **ROM** は使えないので対数での加算の実装は全く違う)
- 仕様決定、シミュレータ (**C** で記述) は牧野
- 論理設計以降は富士ゼロックス (橋本、富田)
- **SCS Genesil** で設計
- ファブは **NS. 1**μ**m**
- ボードは奥村
- **1** 千万ちょっとの予算で **20Gflops** を実現。

色々

- こう話してくるとそんなに難しいことはなかったように聞こえるかも
- 実際には、計算機設計、という以前に電子回路にも殆ど素人な人が数人集まってやった、参考にしたのは **CQ** 出版等からでている技術書や雑誌、というような感じ
- 「計算機」というのはこういうもの、という先入観なしで設計したのが良かった面もあると思う

この後

- **1992-1995 GRAPE-4**
- **1997-2001 GRAPE-6**
- **2004-2008 GRAPE-DR**
- **2009-2011 GRAPE-8**

結構常時なんか作っている。

GRAPE-DR

- 開発費の問題
- 解決の方向
- 現状と今後

開発費の問題

- 半導体の進歩に比例して開発費用も増大

年	計算機	チップ初期コスト	設計ルール
1992	**GRAPE-4**	**200K$**	**1μm**
1997	**GRAPE-6**	**1M$**	**250nm**
2004	**GRAPE-DR**	**4M$**	**90nm**
(2010?	**GDR2?**	$>$ **10M$**	**45nm?)**
2016	**GRAPE-PFN2**	$>$ **10M$**	**12nm?**

全体予算は初期コストの **4** 倍程度必要。
15 億の予算は天文専用ではとれない。

GRAPE-DR

- プログラム可能アーキテクチャ — **GRAPE** より広い応用範囲
- **SIMD** 並列計算機を **1** チップに。
- チップ性能**:** 単精度 **512,** 倍精度 **256Gflops (500MHz** で、、、**)**

予算獲得

- 牧野が代表で色々アプライしたけど全部落ちた (ヒアリングまではいくけど、的な)
- 東大情報の平木さんと組んで (平木さん代表で) アプライしたら採択された (2004 年度)
- 世の中そういうものである

開発体制

- チップは牧野
- ボードは福重+小池 (大学院生)
- ドライバソフトウェアは当初小池

途中で福重がベンチャー企業を始めて、さらに牧野が天文台に異動したので色々人手的には破綻した。

とはいえ、一応計画年度内にチップ・ボード完成。

できたもの — GRAPE-DR クラスタシステム

GRAPE-DR クラスタシステム

- **128-**ノード**, 128-**カード システム **(105TF** 理論ピーク **@ 400MHz)**
- **Linpack** 実測性能**(2010/11): 35 Tflops@400MHz (81** ノードで測定**)**
- ホスト計算機**: Intel Core i7+X58, 24GB** メモリ
- 今年度拡張予定だったけど牧野の異動**+**地震で色々未定に。

Green500

Listed below are the Little Green500's Top 10 most energy-efficient supercomputers in the world as of June 2010.

Green500 Rank	MFLOPS/W	Site*	Computer*	Total Power (kW)
1	815.43	National Astronomical Observatory of Japan	GRAPE-DR accelerator Cluster, Infiniband	28.67
2	773.38	Forschungszentrum Juelich (FZJ)	QPACE SFB TR Cluster, PowerXCell 8i, 3.2 GHz, 3D-Torus	57.54
2	773.38	Universitaet Regensburg	QPACE SFB TR Cluster, PowerXCell 8i, 3.2 GHz, 3D-Torus	57.54
2	773.38	Universitaet Wuppertal	QPACE SFB TR Cluster, PowerXCell 8i, 3.2 GHz, 3D-Torus	57.54
5	536.24	Interdisciplinary Centre for Mathematical and Computational Modelling, University of Warsaw	BladeCenter QS22 Cluster, PowerXCell 8i 4.0 Ghz, Infiniband	34.63
6	530.33	Repsol YPF	BladeCenter QS22 Cluster, PowerXCell 8i 3.2 Ghz, Infiniband	26.38

- ベンチマークは **Top500** と同じ
- 消費電力当りの性能でランキング
- ちょっと小さいめのシステムまであり、のリストで **1** 位
- 何故か **NHK** まで取材にきた。

そのあと

- **GRAPE-DR** ベースに、「京」、ポスト京向けの開発・提案をするが採用にはいたらず。
- **2016** 年から、**PFN (GRAPE-DR** の時に大学院生だった西川さんが社長**)** と共同で深層学習向けプロセッサ開発
- 大体できて西川さんが発表

MN-core 紹介ビデオ

深層学習向けの計算機

- ニューラルネットワークの **1** 層は「行列ベクトル積」
- 特に、現在主流の「畳み込みネットワーク」では「行列行列積」
- 計算精度はあんまりいらないらしい。最近は **16** ビット表現が使われることもある。

現在の最先端

- **NVIDIA Tesla A100 (2020** 年夏発表**)**
- **16** ビットで 4×4 の行列同士の乗算の専用回路をもつプロセッサ。倍精度も 2×2 の行列同士の乗算
- **1** チップで **16** ビットでは **300 Tflops** 程度を実現。**(**「富岳」の **1** チップは **12Gflops** なので、**30** 倍近く速い**)**
- 通常の **64** ビットだと **20Tflops** 程度。

他のところの状況

- **Google** は **TPU3** までを開発、社内で利用。**(**性能の詳細はまだ不明**)**
- **Intel**、**IBM** は色々なものを発表しているが、、、
- 日本メーカーも富士通、ルネサスその他
- 牧野も **Preferred Networks** と共同研究開発中。以下その話を少し。

MN-Core/GRAPE-PFN2 とは?

- **PFN** と牧野のとこで開発している、主なターゲットは深層学習なプロセッサ。
- 深層ニューラルネットワーク **(DNN)** の学習で世界最高の電力あたり性能を実現することが目標。
- **FP16** (ライク) フォーマットでピーク **524TF**
- 電力消費 (チップレベル) **500W** 以下、**1.2TF/W** くらい。世界トップレベル

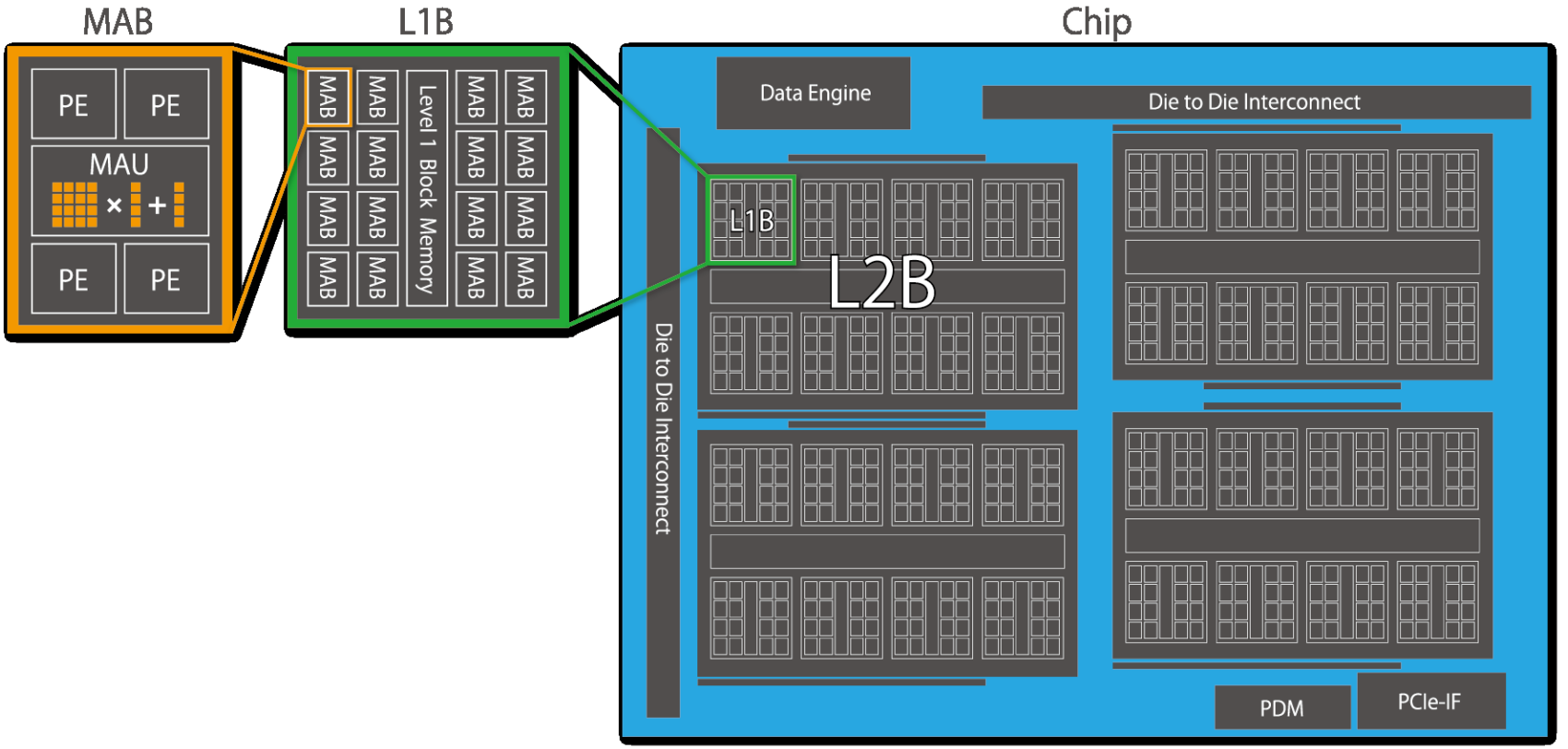
時系列

- **2016/2** 牧野が **PFN** に呼ばれて **(**まだ本郷にあった**)** 色々議論
- **2016/6** 共同で **NEDO** のあんまり大きくない予算 **(4000** 万 × **2** 年**)** に応募 **(**その辺で **PFN** は現在の大手町に**)**
- **2016/7** 公式にプロジェクト開始。**NEDO** のお金では大きくチップ作れないので **40nm** のシャトル **(GPFN1)**、それにちょっと遅れて実機を **TSMC 12FFC** で **(GPFN2**、**PFN** 自己資金**)**。
- **2018/12 PFN** から正式発表
- **2020/6 Green 500** ランキング **(**電力あたり計算性能**)** で世界一
- **2020/11 Green 500** ランキング **(**電力あたり計算性能**)** で **NVIDIA A100** にちょっとぬかれた、、、
- **2021/6,11 Green 500** ランキング世界一

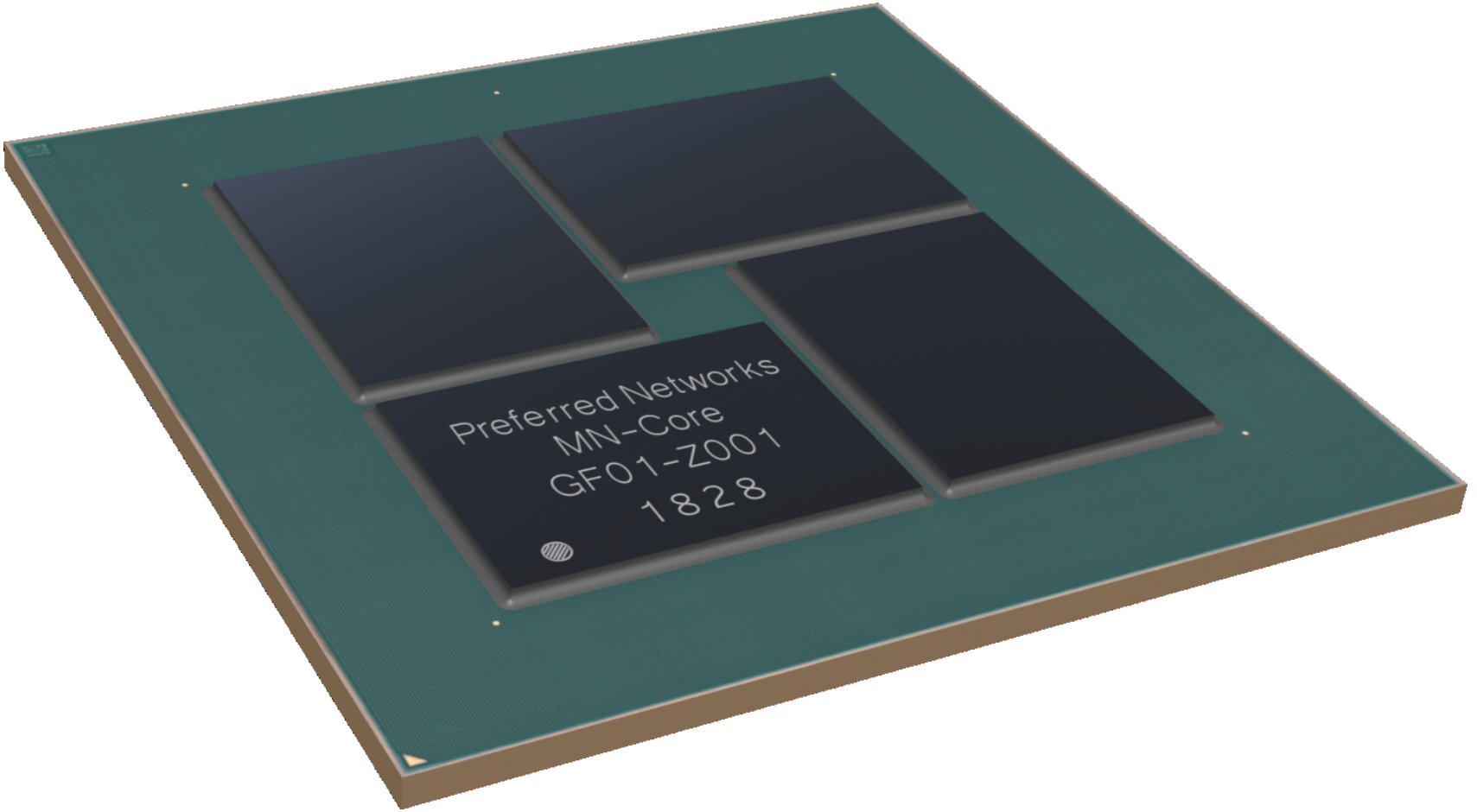
GPFN2 概要

- **1** カード**: 1**「モジュール」
- **1** モジュール**: 4** ダイ **MCM**
- **1** チップ**: PCIe (gen4, x16), xDDRx** メモリ **(**内緒**) 4 “Level-2** 放送ブロック**” (L2Bs)**
- **1 L2B: 8 L1Bs**
- **1 L1B: 16 MABs (Matrix Arithmetic Blocks)**
- **1 MAB: 4 Processor Elements**。これに対して **1** つ「行列乗算ユニット」
- **FP64:FP32:FP16** 性能比は **1:4:16**
- カード全体が **SIMD** で動く。命令ストリームは **1** つ。

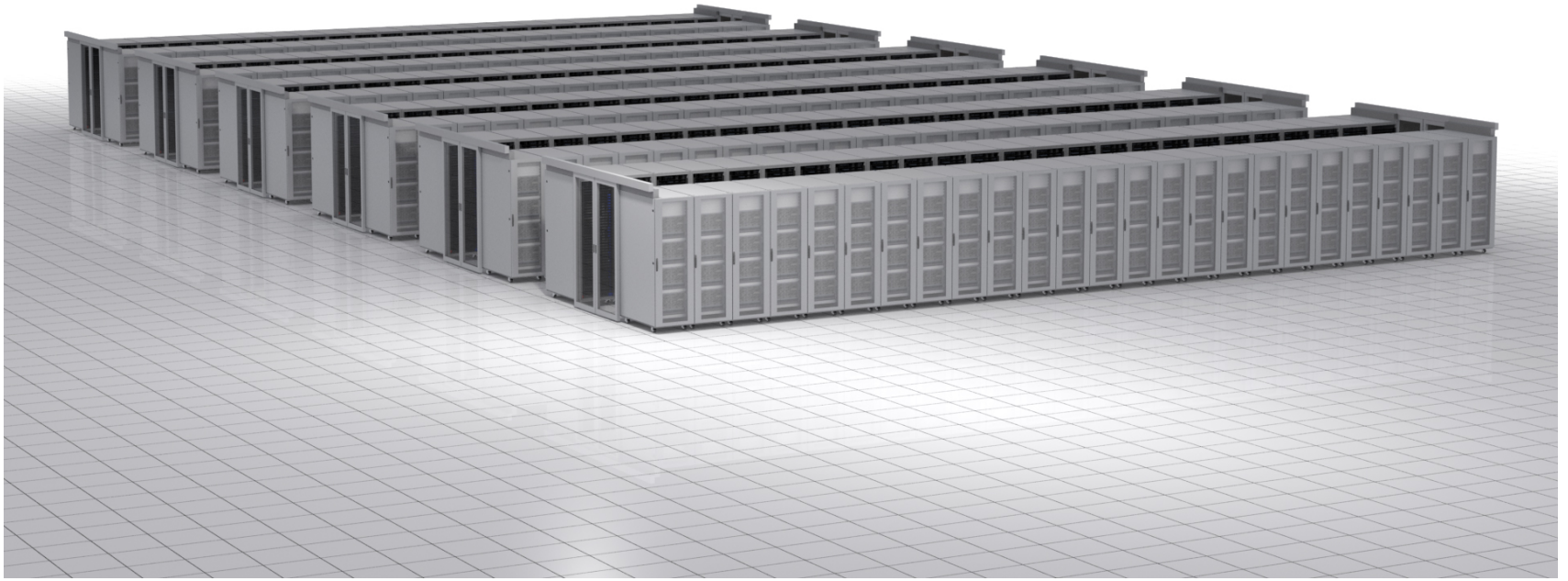
GPFN2 ダイアグラム



MN-Core



MN-3



卒研の進め方は？

これも基本的には「応相談」
大体の方針**:**

- とりあえずテーマ **(**分野くらい**)** を決める
- 関係する基礎的なことの勉強と新しい研究のサーベイを **3-6**ヶ月くらいする
- で、その辺で、もうちょっと具体的にやることを決める

というような感じ。

牧野の部屋**:3** 号館 **307**
研究室 **HP: http://www.jmlab.jp**
質問・相談はいつでもどうぞ。メイルが確実です。
jmakino -at- people.kobe-u.ac.jp