

牧野淳一郎 東京工業大学理工学研究科 理学研究流動機構

HPCI 戦略プログラム分野 5 全体シンポジウム (2012/3/7)

話の順番

- ●課題4の話
- 「京」の次の計画の検討の話

最終成果

- ダークマターハローシミュレーション、銀河形成シミュレーション、 及び星形成、惑星形成シミュレーションについて、「京」及び近い将 来のスーパーコンピューターの性能を有効に生かすことができるアル ゴリズム、シミュレーションコードを開発すること
- 開発したシミュレーションコードを使った大規模シミュレーションで、
 - ダークマターハローの最小サイズハローからの形成過程
 - 銀河形成過程、特に、銀河の多様性の起源

を明らかにすること

 ● 星形成、惑星形成過程についても研究を進め、特に系外惑星の多様性の の起源の理解を進めること

課題4実施体制



責任者:牧野(東工大)----斎藤、馬場 梅村(筑波大学)----岡本、石山、長谷川(似鳥) 松元(千葉大学)、大須賀(国立天文台)----高橋 富阪(国立天文台) 井田(東工大)

テーマと人の関係 ダークマターハロー : 石山 牧野・梅村・吉田 銀河形成 : 岡本、斎藤、馬場、長谷川 牧野・梅村 星・惑星形成 : 富阪、小久保、井田 ブラックホール成長 : 高橋、大須賀

最終目標 — 「数値目標」(1)

- ダークマターハローシミュレーションでは、理論ピーク性能の 25-50
 の性能を「京」全体に近いスケールの並列計算で実現する
- ダークマターハローシミュレーションでは、大空間スケール(100Mpc 程度)、小スケール(100-1000pc)の両方について、少なくとも 8192³、 可能であれば 16384³ 粒子程度の分解能でのシミュレーションを複数 実行する。
- 銀河形成については、理論ピークの10-20「京」全体の 1/10 程度の 規模の利用で実現する
- 銀河形成については、流体粒子で 10⁸ 以上、質量分解能 (SPH 粒子 質量) で 100-1000 太陽質量程度の計算を複数行ない、銀河の多様性 の起源を解明する。また、可能であれば流体粒子で 10⁹ 以上の粒子 数で、銀河群、銀河団スケールのシミュレーションを行う。

最終目標 — 「数値目標」(2)

星形成・惑星形成シミュレーションについては、流体部分については銀河形成シミュレーションコード、また微惑星からの集積過程についてはダークマターシミュレーションコードの成果を利用したソフトウェア開発を進める。

現実問題としては「京」コンピュータの計算資源がいつからどれだけ使えるか、またス トレージ等の資源についても不確定な部分が多いので、この成果を保証できるかと言われ ると難しい。

年次計画

- H23: ダークマター、銀河形成コードについて、「京」向けの最適化
- H24 まずダークマターシミュレーションについて大規模計算を行う。
 銀河形成についてはコードの改良、小規模なテスト計算を進める。星・
 惑星形成についてはコード開発を進める。
- H25 以降 ダークマターシミュレーションを継続する。銀河形成については大規模計算を進める。H26 前後から星・惑星形成についてもプロダクトランに入る。

課題4でやりたいこと

- ダークマターハローから惑星形成までの(主に)重力による構造形成の (輻射・磁場が重要でないというわけではない)
- 空間・時間的にアダプティブな大規模並列コードでのシミュレーションによる理解

話の構成

- ダークマターハロー (今日は主にここの話)
- 初代星
- 銀河形成
- 星形成
- 惑星形成
- 戦略プログラムでの「戦略」

ダークマターハロー

- 宇宙の物質・エネルギーの大体 5% くらいがバリオン(普通の物質
- 20% くらいがダークマター (正体不明の素粒子)
- 75% くらいが「ダークエネルギー」
- 「重力による構造形成」は基本的にダークマターの構造形成
- もちろん、見えるものは星やガス

ダークマターだけの構造形成を考える意味

- ダークマターの構造形成自体はバリオンの影響を「あまり」うけない:
 バリオンなしの計算でもわかることがある
- ある意味「もっとも簡単」な問題:正しい答を求められないようでは
 話にならない。バリオンがはいった計算は信用できるのか?
- ダークマター粒子の性質によっては直接観測できるかも。地球近傍での分布を予測することは重要

ダークマターの構造形成シミュレーション

アニメーション1 アニメーション2

Ishiyama et al. 2009 から。粒子数 1600³ では天文台の Cray XT4 2048 コアを使って数週間の計算 (アニメーションは 1024³ のもの)

ダークマターハローの構造



現時点で最大粒子数、 最高分解能の計算: Springel et al (2008) 粒子数を3桁変えて チェック それなりに収束?





- 計算の範囲では いかなるべきで もない。
- 何故こんなふう
 になるかは理論
 的には全く不明。

歴史的経緯

- 1996 年: NFW 論文、「初期ゆらぎのパワーやコスモロジーによら ず、ダークマターハローの密度分布は NFW プロフィルで書ける」 (引用数 2434)
 - 根拠は1万粒子くらいの計算
 - 緩和時間とかから、信頼性は×
- 1997年: Fukushige and Makino: 「100万粒子くらい使ったら中 心のべきはもっと深かった」(引用数 205)
- 1999年: Moore et al. 「300万使ったらやっぱり深い」、 Moore99 プロフィル (引用数 1247)
- その後現在まで: 粒子数さらに3桁上昇、「NFW は正しくない (Navarro はそうはいわないが)が、ずっと中心では Moore99 より 浅くなる。」

まとめると、、、

- ダークマターカスプの中心付近の密度構造は、「なんだか不思議なもの」
- 単純なべきではない。が、どこまでもべきが下がるかどうかも不明。
- 緩和時間の見積もりでは計算はあっているようだが、、、、

現在のところ、数値計算の結果が本当かどうかは?

- 初期ゆらぎ自体はほぼべき乗なものがはいっている。
- 粒子の質量以外に特徴的なスケールはない。

理論的な問題点

- 数値計算の結果はあっても、それを理解できる理屈がついてない
 - それ以前に、とても理屈がつきそうにない不思議な結果になっている
 - 分解能を上げると結果が大きく変わってきた
- そもそもこのやり方は原理的に大丈夫?

原理的な問題

宇宙論的 N体シミュレーションは、「無衝突系」の正しいシミュレーションになっていない

初期条件の作り方:

- 1. 一様に粒子を置く(格子/グラス)
- 密度ゆらぎのパワースペクトル(粒子間距離の倍とかの波長でカット オフ)に従って、ランダムなゆらぎを発生させ、粒子を線形成長解に 従って動かす





CDM だと小さいものが先にできる = 最初にできる「ハロー」は粒子 10個程度

(私を含む)業界の信念: 階層的な合体成長のプロセスが構造を決めてい るので、最小の構造がちゃんと計算できているかどうかは結果に影響しな いはず

誰かが確かめたわけではない

確かめる?

原理的には、確認は簡単。

- 初期ゆらぎのカットオフ波長を固定して
- 粒子数 (質量分解能)を数桁くらいふってシミュレーションする

現実的な問題:

- ものすごい計算時間がかかる。
- その割に地味な仕事。論文数稼げない

最小ハローの構造

カットオフがナイキスト周波数より大きな計算で、宇宙物理学的に意味 がある話=最小ハローの構造

現実のダークマター: free streaming によるカットオフ波長がある、というのが常識的なモデル(波長はどんな粒子かによるが、例えば地球質量くらい)

最小質量ハロー:地球質量くらい、大きさは 100 AU くらい。

- このハローはどんな構造か
- 太陽近傍で生き残っているのか

最小ハローの構造を考える意味

主な問題:生き残っているかどうか これは観測可能性には極めて大きな影響

- 直接検出:密度が平均密度とは違う、、、、
- 対消滅: 生き残っていれば圧倒的な寄与

生き残るかどうかを決める要因

- 合体成長の過程で少し大きなハローに吸収されてなくなる
- ずっと大きなハローの中でも、潮汐破壊される
- 恒星等によって潮汐破壊される

いずれにしても、中心部分の構造が本質的に重要。

これまでの研究



といってもほとんどこれだけ: Diemand et al. 2005, Nature 433, 389

基本的に普通の宇宙論的シミュレー ション 地球スケールのハローを 10⁴ 粒子くらい で分解





- NFW の元々の分解能が悪い
 計算と変わらない
- 粒子数が少ないからまあ当然
- 多分全然間違っている

ダークマター構造形成

- > 宇宙の物質の約85%は重力を通してのみ作用するダークマターである
- ビッグバン直後はほとんど一様で、わずかな物質のむら (密度揺らぎ)が 存在した
- 密度揺らぎは重力により非線形成長し、ダークマターハローと呼ばれる、 中心が高密度な天体を形成する
- > ハローが合体して大きいハローを形成し (階層的構造形成)、その中でガスが 集って収縮し、星や銀河ができた

宇宙の大規模構造

ダークマターハロー

銀河



ダークマター粒子の正体

 ダークマター粒子の正体は不明。世界中で多くの研究グループがダークマ ター検出の一番乗りを目指し、しのぎを削っている



- 一つの有力候補:質量100GeV[~]TeVの超対称性粒子ニュートラリーノ
 対消滅してガンマ線を放出する(ダークマター検出実験)
- 太陽近傍でどこがダークマター対消滅によるガンマ線フラックスが最も大き
 いかを明らかにすることは、ダークマター探査の戦略上極めて重要

対消滅の回数はダークマター密度の2乗に比例。
 銀河系ダークマターの微細構造を解明する必要がある

"京"を使って何を計算するか

銀河中心 vs 太陽近傍の最小ハ ロー? これを明らかにするため

- ・ 最小ハローの銀河系内での
 生存率
- ▶ 最小ハローが合体してできる ハローの構造

を知りたい

粒子数8192^{°~}16384[°]を用い、最 小ハローを正しく分解した上で、 それの階層的構造形成過程を追う 重力多体シミュレーションを行う (最小ハローをサブハローとして含 むハロー形成シミュレーション)

- 背景:テスト計算結果
- 最小より質量で2~3桁大きいハロー形成
- 粒子数80億、領域400光年
- 初期条件:宇宙初期のダークマター密度揺らぎ

本研究の特徴、インパクト

- これまでの研究の大部分:シミュレーションで分解できる大きい
 サブハローの情報だけを使って、ガンマ線フラックスを評価
 - -最小ハローに対して中心密度が大きくないモデルが適用 →ガンマ線フラックスの過小評価
- 本研究は、最小ハローからボトムアップ的に、ハローの構造を調べる これまでとは全く異なる新しいアプローチ
- 未知の粒子であるダークマター検出 実験に大きなインパクト
- ハローの構造は、初代星形成や 銀河形成にとっても重要
- 粒子数[~]1兆の重力多体問題は、
 世界最大となる



TreePM法の並列化

- シミュレーション領域を並列数で分割し、それぞれの担当領域にある粒子が受ける力を計算する
- を重力計算に必要な、他の領域にある 情報は通信してもってくる

- 近距離力はカットオフつきのツリー
 法で計算される
 - > 粒子情報の通信は**局所化**
 - ▶ 通信量の削減
- 遠距離力は一様格子上の密度場から
 計算されることにより
 - > 通信量を大幅に削減



前のステップの計算時間を用いて、 計算負荷が均等になるように、領域 をアップデートする (Ishiyama+ 2009, PASJ)

京での実装 相互作用計算(カーネル部)の高速化

> カットオ

トオフ関数の変形

$$S \equiv \max(0, R - 1),$$

 $g_{\text{P3M}}(R) = 1 + R^3 \left(-\frac{8}{5} + R^2 \left(\frac{8}{5} + R \left(-\frac{1}{2} + R \left(-\frac{12}{35} + R \frac{3}{20} \right) \right) \right) \right)$
 $- S^6 \left(\frac{3}{35} + R \left(\frac{18}{35} + R \frac{1}{5} \right) \right) \quad (0 \le R \le 2)$

- 分岐を排除し、積和演算を有効利用可能な形に帰着。 コンパイラに頼らず、SIMD組み込み関数を用いて、最大限チューニング
- カットオフ部 7+8x2(FMA)演算、ニュートン重力部 10+9x2(FMA)演算
- FMAと非FMA部の割合は1:1、したがって理論ピークは12GFlops/core
- これだけだと実測値9.6GFlops/core。さらにi粒子方向に2、j粒子方向に4、 手動アンロールすることでパイプラインを埋め(16並列)、 ^{~10.5GFlops/coreまで性能改善(ピークに対し65(88)%の性能)}

^{京での性能} 演算の詳細と予想される性能

- 計算時間の割合:ツリー部87%、PM部9%、領域更新4%
 - -隣接・大域通信ともに3%ずつ程度を占める(FFTWの並列FFT除く)

- 実行効率は12288ノードを用いて40%程度(2011年11月時点)
- カーネル部のループアンロール最適化、ツリーウォークの最適化前の数値。 今は45%程度達成(ただし~1000ノードでの数値)

粒子数5500億

 全システム(88128ノード)に外挿すると 88128/12288×630TFlops × 45/40 × 0.7-0.9 = 3.5-4.5Pflops

ノード数	簡易プロファイラ	演算数カウント
12288	629 T flops (40%)	598Tflops ($38%$)
6144	322Tflops $(41%)$	307 T flops (39%)

輻射流体による初代星・銀河形成シミュレーション(長谷川)

目的:輻射フィードバックとガス力学・化学進化を整合的に解く事で、宇宙初期における星・銀河形成過程、さらにはそれに伴う宇宙再電離過程を解明する.
 ★初代銀河はどのように形成され、どのような姿をしていたか?
 ★それらは宇宙再電離にどのように寄与したか?
 目標達成の為に必要不可欠なツール = 輻射流体計算



初期宇宙では、上記の様に様々な過程が複雑且つ密接にリンクしかし、初期 条件(密度ゆらぎ)は既知であるので、輻射流体を用いれば正確に再現可能.



Hasegawa & Semlin (2012)

+ 初期宇宙の銀河形成では、特に輻射 フィードバックによって星形成が支配され ることを示した.

-分解能不足により、銀河内の詳細な構造までは明らかにできない.

-重元素汚染が星形成史や再電離史に 与える影響は不明.

-計算領域の制限から銀河の統計的性質 は不明 H24年9月-12月:

高密度領域のみに注目した計算を行う事で、初期密度揺らぎから初代銀河 が如何に形成されるかを解明.輻射 フィードバックと化学・力学進化を整合 的に組み込み、星形成領域を空間的 に分解する世界初の初代銀河形成シ ミュレーション.

> シミュレーション結果をサブ グリッドのモデルとして採用

H25年1月-3月: これまでの計算よりも広大な領域での 輻射流体計算.初期宇宙の化学進化 過程・銀河形成過程・再電離過程を整 合的に解明する.Hyper Suprime-Camで 観測が期待される初期宇宙での銀河 の光度関数・空間分布などを定量的に 予言.

メッシュ流体用高速輻射輸送計算(岡本)

- メッシュ流体用の高速輻射輸送法 ARGOT の開発 (Okamoto, Yoshikawa, Umemura '12)
 - START (Hasegawa & Umemura '10) と同様に Tree 構造を用いて遠方の光源を見込み角によってまとめることにより光源数 n_s を log(n_s) に減らす (問題によってはメッシュも粗視化して輻射輸送計算を加速)





H24年度の研究計画.

- H24年4月-8月(共用開始前): 「京」でのコードチューニング、スケーラビリティの確認
- H24年9月-12月:

宇宙論的初期密度ゆらぎから形成される初代銀河形成のシミュレーション.特に、輻射フィードバックが銀河内の星形成率等の特徴にいかなる影響を与え、結果どのような銀河になりうるかを調べる.輻射輸送計算によって銀河SEDを計算する事で、次世代観測機器での観測可能性についても議論する.計算規模としては、512³-1024³粒子を想定.

• H25年1月-3月:

広大な領域(10Mpc-100Mpc立方)での宇宙論的輻射流体計算に よって、宇宙再電離過程・銀河形成過程・重元素汚染過程といっ た初期宇宙の進化を整合的に解き明かす.この際、サブグリッドで の星形成モデルについては、上記のシミュレーション結果をモデ ル化したものを用いる.計算規模としては、512³-1024³粒子を想定.

お臨界降着流とブラックホールの成長

担当者:高橋博之、大須賀健(国立 天文台)、松元亮治(千葉大)

銀河形成期のガス降着によるブラックホール 成長と銀河進化への影響を調べる。

重力エネルギーが輻射に転化された場合の 光度が高く、輻射圧>重力となる超臨界 降着でないと十分はやく成長できない。



大須賀らによる超臨界降着の2次元 軸対称輻射磁気流体数値実験結果

超臨界降着流を支配する物理

- 1. 磁場 : 増幅とそれによる角運動量輸送→ガス降着を促進させる役割
- 2. 電気抵抗: 磁場を散逸→乱流加熱率や磁場飽和値、角運動量輸送率に影響
- 3. 輻射 : 超臨界降着による重力エネルギー解放

→放射される光の圧力(輻射圧)が力学に影響

4. 相対論 : ブラックホールの回転やニュートン重力からのズレによる影響
 →円盤の最内縁半径や、噴出するジェットの速度に影響

相対論的抵抗性輻射磁気流体コードによる数値実験が必要不可欠!!

相対論的抵抗性輻射磁気流体 (R3MHD)コードのテストと適用

日陰問題

原点付近に光学的に厚い物質 塊を置き、左から光を照射して 影ができるか調べる。



1次モーメント法(M1)では 光は指向性を持って伝搬できる

相対論的磁気リコネクションの 世界初のR3MHD計算を実施

輻射過程 吸収:自由-自由吸収(m.f.p.=1.6x10⁴km) 散乱:電子散乱(m.f.p.=2.5x10⁻³km)



強い輻射場があると輻射抵抗により アウトフローが遅くなる

輻射磁気流体計算のまとめ

目的:超臨界降着流によるブラックホールの成長を調べる 手段:相対論的抵抗性輻射磁気流体(R3MHD)数値実験

この目的のために

□安定な相対論的輻射流体コードの開発 (Takahashi+12)

- 吸収や散乱のタイムスケールが力学的タイムスケールに比べて遥かに短い場合でも安定に解く事が出来る陰的スキームの開発
- □磁気流体に拡張し、輻射場については非等方な光の伝搬 を考慮したM-1スキームを実装(Takahashi & Ohsuga '12)
 □有限の電気抵抗を考慮した世界初のR3MHDコードを開発
 - R3MHDコード適用の第一歩として磁気リコネクション問題に適用
 - 輻射場が磁気リコネクションのダイナミクスに直接影響を与えること を示した(Takahashi & Ohsuga '12)

現在は超臨界降着流への適用をめざし、コードのチューニングと 初期条件の設定を行っている

「京」の次の計画の検討の話



- 背景
- 経緯
- 今後

背景

- 「京」は大体出来た(まあ使う側から見るとまだ色々ある けど、開発側から見ると)
- ●計算作るのはアーキテクチャが決まってて5年、考えるところからやると10年かかる
- ●「京」の寿命が5年とすると次のもののアーキテクチャは?

というような話ではないかと思います。

経緯

- 2011/4/7 HPCI 計画推進委員会:「今後のハイパフォーマンス・コンピューティング技術の研究開発の検討ワーキンググループ」設置
- 4/13-6/17 WG 7 回開催。有識者(?)の意見、戦略分野 からの意見を聴取
- 以下、このWGのレポート概要 (2011/7)

議論のまとめ (ポイント)(1)

- HPC技術を如何に活用するのかという検討を出発点とすべき
- アプリケーション、アーキテクチャ、システムソフトウェアの開発を一体として行うべき
- 今後のHPCシステムは、目的別に特徴のある複数のシステムを検討していくことが望ましい
- エクサフロップスを当面の目標としつつも途中段階の数1
 0~100超ペタフロップスでの検証が必要

議論のまとめ (ポイント)(2)

- ●国家基幹技術として、どの部分を日本で開発していくべき かを定めることが必要
- コンピュータアーキテクチャやシステムソフトウェアのみならず、モデル化の再検討や新しいアルゴリズムの開発も重要
- オンラインでセンサーデータをリアルタイムに集めながら シミュレーションを行うといった利用など、今までにない 観点をあわせて考えることが必要

今後の取組(1)

1取組の基本的な考え方

- まず、社会的・科学的課題を如何に解決するのかという視点に立ち、どのようなHPC技術が必要かを考えるというアプローチを取る
- 社会や研究開発への適用を考え、コンピュータアーキテク チャ、ネットワーク、ソフトウェア等の技術開発に総合的 に取り組み、全体として最適化する

今後の取組(2)

- 2. 検討の方向性
- ●課題に応じた計算手法等の特徴を踏まえ、複数のHPCシ ステムを追求するというスタンスに立つ
- スーパーコンピュータのみならず、センサーやネットワーク技術、データ処理技術などについてもあわせ検討する

今後の取組(3)

- 3. 具体的な取組
- 今後の開発を担う若手を中心に、幅広い産学官の関係者による検討を開始する
- 「アプリケーション」、「コンピュータアーキテクチャ」、
 「コンパイラ・システムソフトウェア」の3つの作業部会が緊密に連携しながら検討を進めていく体制を立ち上げ
- 本年中に複数の追求すべきHPCシステムとこれを開発していく体制案をとりまとめ

「今後のハイパフォーマンス・コンピューティング(HPC) 技術の研究開発の検討ワーキンググループ」が3つできる ことになった。

3作業部会

- 実際には「コンピュータアーキテクチャ・コンパイラ・システムソフトウェア」と「アプリケーション」の2つ
- 前者は「戦略的高性能計算システム開発」ワークショップ が母体。2010 年度から活動
- 後者は戦略分野から人を集めて急遽でっち上げた
- ●「戦略的高性能計算システム開発」第5回ワークショップ、 「コンピュータアーキテクチャ・コンパイラ・システムソフト作業部会」が7月に開催

アプリケーション側からみていくつかの問題点が見えた

7月時点での計算機側の検討の問題点と アプリ側の対応

問題点

- アーキテクチャとして想定されていたものは一応複数タイ プとなっていたがあまり中身が変わらない、実質的にシン グルアーキテクチャ
- アプリケーションの多様な要求に合わせた複数のシステム
 を、というのが全く視野に入っていない

対応

● アプリケーション側で要求の幅を示す

8-10月に色々議論、資料作成をした。

アプリケーションの特性まとめの方針

- ネットワーク速度
- ネットワークレイテンシ
- 主記憶バンド幅
- 主記憶サイズ
- オンチップメモリサイズ

といったものを「なるべく原理的なところから」評価する

アプリケーション側のまとめの議論ででて きた話

- 最重要と思われるパラメータは主記憶容量と速度 (B/F) 容量と速度 (B/F)
- ハードウェアのイメージがないとあまり意味がある分量に ならない

アプリ側によるタイプわけ

タイプ	B/F	メモリ量	消費電力	演算性能)	バンド幅
		$(1\mathrm{TF})$	$(1 \mathrm{EF})$	$(20\mathrm{MW})$	$(20\mathrm{MW})$
ベースライン	0.1	10-100GB	$20 \mathrm{MW}$	$1\mathrm{EF}$	$0.1 \mathrm{EB/s}$
\mathbf{SoC}	4	5-10MB	2-5MW	4-10EF	$16-40\mathrm{EB/s}$
アクセラレータ	0.001	1-10GB	4-10MW	2-5 EF	$2\text{-}5\mathrm{PB/s}$
バンド幅重視	1	$1\mathrm{TB}$	$120\mathrm{MW}$	$0.15 \mathrm{EF}$	$0.15\mathrm{EB/s}$

アーキテクチャグループによるもの

タイプ	B/F	メモリ量	消費電力	演算性能)	バンド幅
		(1TF)	(MW/EF)	$(\mathrm{EF}/\mathrm{20MW})$	$(\mathrm{EB/s})/(\mathrm{20MW})$
レファレンス	0.1	$100 \mathrm{GB}$	50-100	0.2-0.4	0.1
メモリ削減	0.5	$200 \mathrm{MB}$	20-40	0.5-1	0.25 - 0.5
演算重視	0.005	$10 \mathrm{GB}$	10-20	1-2	0.005 - 0.01
バランス重視	1	$1\mathrm{TB}$	200-400	0.05 - 0.1	0.05 - 0.1

違いのまとめ(牧野の私見)

1. 全体に電力当り性能が下がっている (1/5-1/10)

- 現在のコモデティ製品の延長で書いている
- トレンド予測であって技術的可能性の検討にはまだなっていない
- 2. 新「メモリ削減」でバンド幅あまりない
 - これはオンチップメモリ
 - オンチップでリッチなネットワークをもつ(物理共有メ モリに近い)としているため
 - アプリケーション側から見ると、チップ内部で分散メ モリ、メッシュネットワークでよい話が殆ど。





- 来年度から2年間の「フィージビリティ・スタディ」3プ ロジェクト程度を選定、検討の予定
- その翌年くらいになにを開発するか決定、それから3-4年 で完成させる

ということになっている

FS には皆様御協力 よろしくお願いいたします。