

宇宙論的N体計算コードAMR0の性能評価と数値銀河力 タログ

矢作, 日出樹
九州大学情報基盤研究開発センター

長島, 雅裕
長崎大学教育学部

<https://doi.org/10.15017/1470183>

出版情報：九州大学情報基盤研究開発センター全国共同利用システム広報. 3 (1), pp.22-23, 2009-10.
九州大学情報統括本部広報委員会
バージョン：
権利関係：



宇宙論的 N 体計算コード AMRO の性能評価と数値銀河カタログ

矢作 日出樹^{*}, 長島 雅裕[†]

1 宇宙論的 N 体コード AMRO

我々は、銀河の観測的性質と空間分布の関連を調べるために、宇宙論的 N 体コード、AMRO(Adaptive Mesh Refinement Observatory)を開発した。このコードは粒子-格子 (PM) 法を基にした N 体コードである。PM 法では、粒子間重力を三つのステップより求める。三つのステップとは、即ち、粒子分布から格子上の密度場を求める質量付与、格子上の密度場から格子上の重力場を求めるポアソンソルバ、格子上の重力から粒子上の重力を求める重力内挿である。PM 法の計算量は粒子数に比例し高速であるが、格子間隔より細かい構造が作れない問題がある。この問題を克服するために、我々は AMR により高密度領域に再帰的に細かな階層格子を置いて、重力計算精度を高めることに成功した。我々のコードの詳細は Yahagi & Yoshii (2001) を、その並列化及びベクトル化に関しては Yahagi (2005) に述べられている。

2 50Mpc 立方 Λ CDM 計算

我々は先述の並列 AMRO コードを使って、 Λ CDM に基づいた初期条件からの宇宙論的 N 体計算を九州大学情報基盤研究開発センターの PRIMEQUEST 580 で行った。初期条件の作成には Bertschinger (2001) が提供している `grafic1` を使った。また、宇宙論パラメータは Ω_b (通常物質密度) = 0.433, Ω_{CDM} (冷たい暗黒物質密度) = 0.2057, Ω_λ (暗黒エネルギー密度) = 0.751, σ_8 (揺らぎの振幅) = 0.787, n_k (揺らぎの強さの冪) = 0.961 を使った。また、計算領域は 50Mpc (1 億 6 千万光年) 立方である。図 1 は計算終了時の物質分布である。図中の階調は柱密度の対数を表すし、黒から白へと柱密度が高くなる。白い塊が銀河を取り巻く銀河ハローを表している。

3 AMRO の性能評価

実際の計算に先立ち、我々は AMRO コードの PRIMEQUEST 580 上での性能を調べた。まず、プロセス数 (N_p) を N_p から変化させ時に、一ステップ当たりの経過時間がどう変化するかを調べた。その結果が図 2 である。記号はそれぞれ、全経過時間 (円)、ポアソンソルバ (四角)、階層格子変形 (ダイア)、質量付与と重力内挿 (三角)、軌道積分 (十字) を表す。図から、16 プロセスから 256 プロセスまでは超線形で加速しているが、1024 プロセスで大きく減速することが分かる。また、その原因が階層格子変形

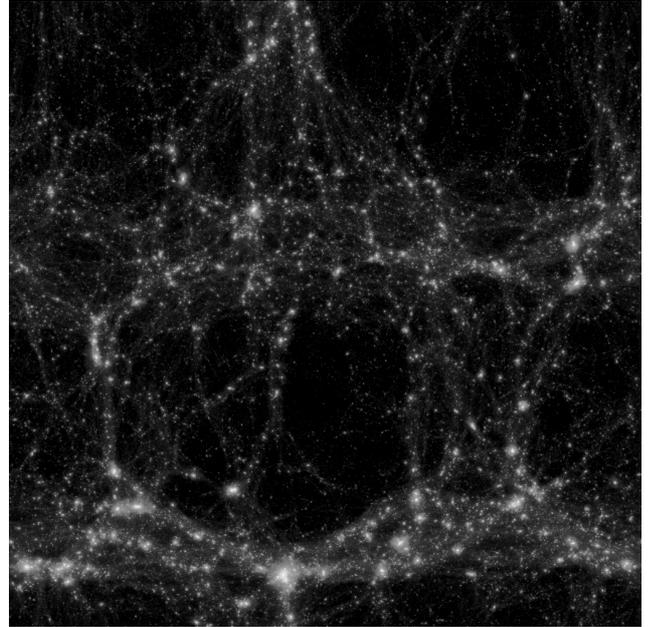


図 1: 計算終了時の計算領域全領域の質量分布

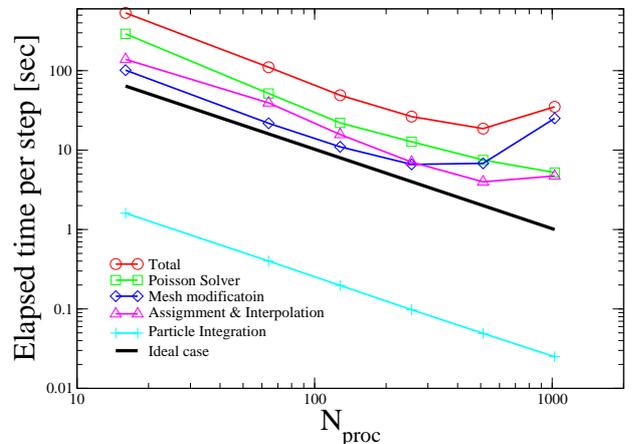


図 2: 計算最初期におけるプロセス数を変えたときの一ステップ当たりの経過時間

^{*}九州大学 情報基盤研究開発センター: yahagi@cc.kyushu-u.ac.jp

[†]長崎大学 教育学部: masahiro@nagasaki-u.ac.jp

からきていることも分かる。この結果だけを見ると、512プロセスで計算するのが一番速いように見える。しかし、この図は計算の最初期での経過時間の違いをみている点に注意する必要がある。実際、512プロセスと1024プロセスで経過時間が計算の進展とともにどう変化するかをみると(図3)、 $a = 0.2$ の辺りで1024プロセスの速度が512プロセスを追い抜くことが分かる。ここで a は、現在を1とした膨張宇宙の大きさを表す。1024プロセスが追い抜く理由は以下のように説明がつく。系の時間が進むにつれ構造が進化し、階層格子数が増大していく。その為、全計算時間におけるポアソンソルバの占める割合も増加していく。しかし、ポアソンソルバのプロセス数に対する経過時間のスケラビリティは非常に良いので、プロセス数が多いほど、系の時間が進んでも経過時間は伸びなくなるのである。尚 $a = 0.25$ 近傍以降では1024プロセス計算のみを行った。

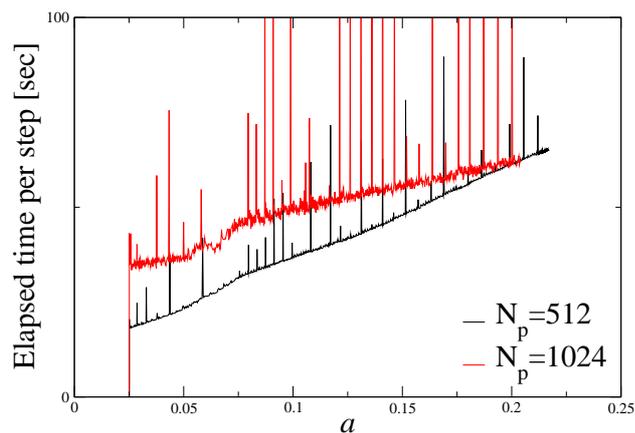


図3: 一ステップ当たりの経過時間
Fraction of points

4 数値銀河カタログ

N 体計算では暗黒物質の分布の進化をとらえることができるが、その中で進化していく通常の物質の進化を追うことができない。ところが、 N 体計算の結果から、銀河の重力的な器である暗黒ハローを抽出し、それらがどのように合体をして成長してきたかを示す樹上図があると、銀河形成のモデルを使うことによって、観測される銀河がどのように分布しているかを計算することができる。我々は Nagashima et al. (2005) のモデルを使用している。今回、PRIMEQUEST 580 での計算は、まだこの樹上図を作成する段階にあるのだが、その作成と同時に、銀河形成モデルが持つ現象論的パラメータを PRIMEQUEST 580 で自動決定させるコードを開発した。図4はそのパラメータ決定の様子を表している。横軸は超新星爆発による加熱制御パラメータ、縦軸は星形成効率パラメータをとっている。 kT は自動決定に関するパラメータ。 kt は最初大きくとり、徐々に1に近づけて小さくすると、最尤パラメータが決定される。今回の場合は、 $(\alpha_{\text{hot}}, \alpha_*) = (4.017, -2.263)$ に最尤パラメータを見つけた。

参考文献

- Bertschinger E. 2001, ApJS, 137, 1-20, "Multiscale Gaussian Random Fields and Their Application to Cosmological Simulations"
- Nagashima, M., Yahagi, H., Enoki, M., Yoshii, Y., & Gouda, N. 2005, ApJ, 634, 26-50
- Yahagi, H., & Yoshii, Y. 2001, ApJ, 558, 463-475, "N-body Code with Adaptive Mesh Refinement"
- Yahagi, H. 2005, PASJ, 57, 779-798, "Vectorization and Parallelization of Adaptive Mesh Refinement N-body Code"

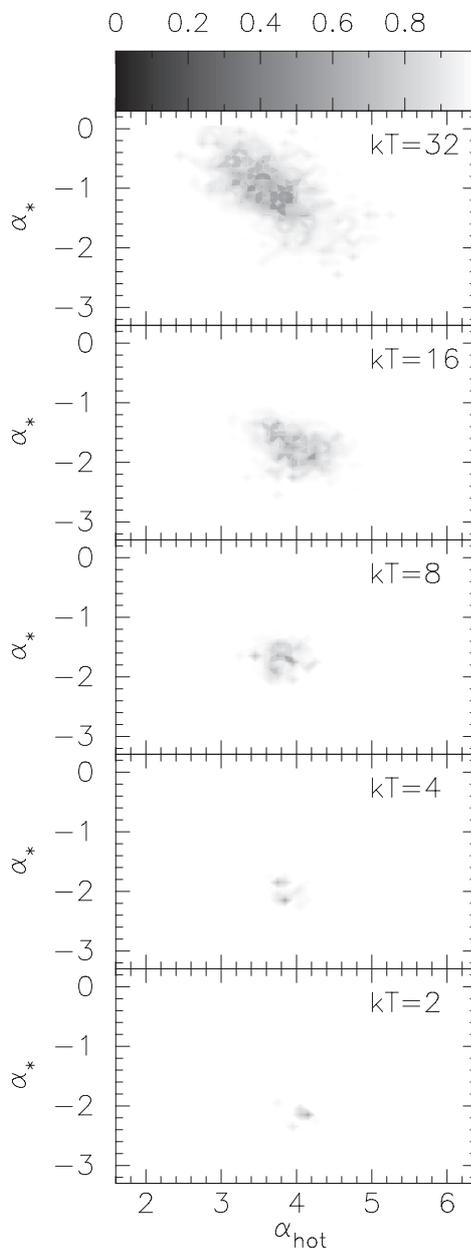


図4: 銀河形成モデルの自動パラメータ決定の例