

1 依頼内容

3次元の lattice シミュレーションを使って、古典スカラー場の発展を解きたいと考えています。最終的にはスカラー場のグローバル相転移で生成される宇宙論的な重力波を計算したいのですが、もしすでに開発されているコードで適切なものがあればお教えいただけないでしょうか。

2 回答

宇宙論における古典的スカラー場を対象とした、代表的なシミュレーションコードとしては、以下のようなものが挙げられます。

latticeeasy (clustereasy)

HP : <http://www.cita.utoronto.ca/felder/latticeeasy/download.html>

言語 : C++

参照 : astro-ph/0011159

HLattice

HP : <http://www.cita.utoronto.ca/zquuang/hlat/>

言語 : Fortran 90

参照 : arxiv:1102.0227 (astro-ph.CO)

arxiv の論文は ver 1.0 のコードに対するもので、現在は ver 2.0 のコードが配布されています。

Defrost

HP : <http://www.sfu.ca/physics/cosmology/defrost/>

言語 : Fortran 90

参照 : arxiv:0809.4904 (hep-ph)

いずれのコードも、宇宙初期の preheating 過程の計算に特化されていますが、方程式やポテンシャルをユーザーが自由に変更できるようになっていますので(コード修正の難しさに違いはありますが)、ご検討中の計算を含むより一般的な目的に使用することができます。

この中で、`latticeeasy` はもっともよく知られているコードで、そのマルチ CPU 版が `clustereasy` になります (MPI を使用)。非常に簡単なコードですので、この3つの中では修正がもっとも簡単に行えます。

`HLattice`, `Defrost` は比較的最近作られたコードで、おそらくマルチ CPU 環境をある程度想定して作られていると思いますが、コードを詳しく見ていませんので、確証は持てません。なお `Defrost` に関しては、[arxiv:0809.4904](https://arxiv.org/abs/0809.4904) を見るかぎり、どうやら single node におけるマルチ CPU 環境にしか対応していない模様です (おそらく `openMP` か `pthread` を使用)。

`HLattice` は重力の backreaction を考慮 (ただし摂動レベルで) している点がユニークで、もしそういう方向をお考えであれば、このコードが良いかもしれません。

`Defrost` は、少なくとも preheating の計算に関しては精度がよいとされています (isotropic finite difference というスキームを使用しています。参照: Kumar, Journal of Computational Physics, Vol.201, p.109)。様々な入出力形式に対応しており、応用の範囲も広そうですが、その分コードが若干複雑という印象があります。

最終的に重力波の計算を行いたいとのことですが、残念ながらいずれのコードも重力波の計算には対応していません。重力波の計算には、摂動アインシュタイン方程式から導かれる重力波の発展方程式 (波動方程式) を直接解く方法と、それを形式的に積分型 (Green 関数をカーネルを持った積分) に書き直したものを計算する方法とがあります。前者の場合は、コード内にあるスカラー場と同様の方法で (コードによって時間発展スキームや空間差分の取り方などが異なります) 重力波の発展方程式を追加する必要があります。後者の場合、計算すべき式は [arxiv:0707.0875](https://arxiv.org/abs/0707.0875) の式 (27)(28) にまとめられています。これらの式を、適当な数値積分スキームを使ってコーディングします。

なお、後者の方法の場合は Green 関数をあらかじめ与えるために、背景時空の宇宙膨張則が固定されている必要があります。背景時空が輻射優勢期から物質優勢期へと変化する場合や、スカラー場から背景時空への backreaction を考慮する場合などは、前者の方法を用い、背景時空の宇宙膨張を決定するフリードマン方程式も同時に解く必要があります*1。

*1 輻射優勢から物質優勢への遷移を考慮する場合、Green 関数は超幾何関数で与えられるので、原理的には積分型の方法でも計算が可能です。しかし式が煩雑になる上、超幾何関数を効率よく計算する手段も必要となるため、波動方程式を直接解く方法を採用の方がよいように思えます。