

べき乗法におけるCMFD加速は
本当に高次モード成分を除去しているのか？

千葉 豪

背景1

固有値方程式の解法であるべき乗法は、予測値（反復中の計算値）に含まれる高次モード成分を反復中に十分に減衰させ、基本モード解を得る手法である。

→ この特性を利用した加速法が源外挿法

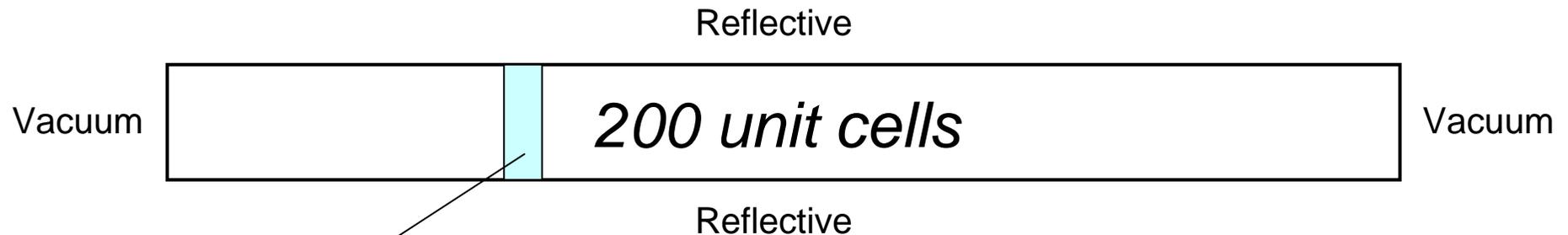
背景2

一方、中性子輸送方程式に対する有効な加速法としてCMFD加速が用いられている。

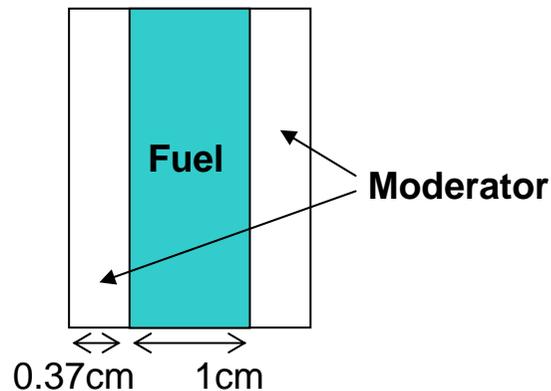
べき乗法と関連づけて考えると、CMFD加速は、「原式を簡略化した方程式(いわゆる粗メッシュ拡散式)の収束解(高次モードが除去された解)を用いて、原式に対する予測値(反復中の計算値)に含まれる高次モード成分を除去する方法」と位置づけることができるであろう。

数値計算による確認

以下のような平板一次元体系(計算上は二次元)を組み、
CMFD加速による予測値の挙動を調べた。



[Unit cell]



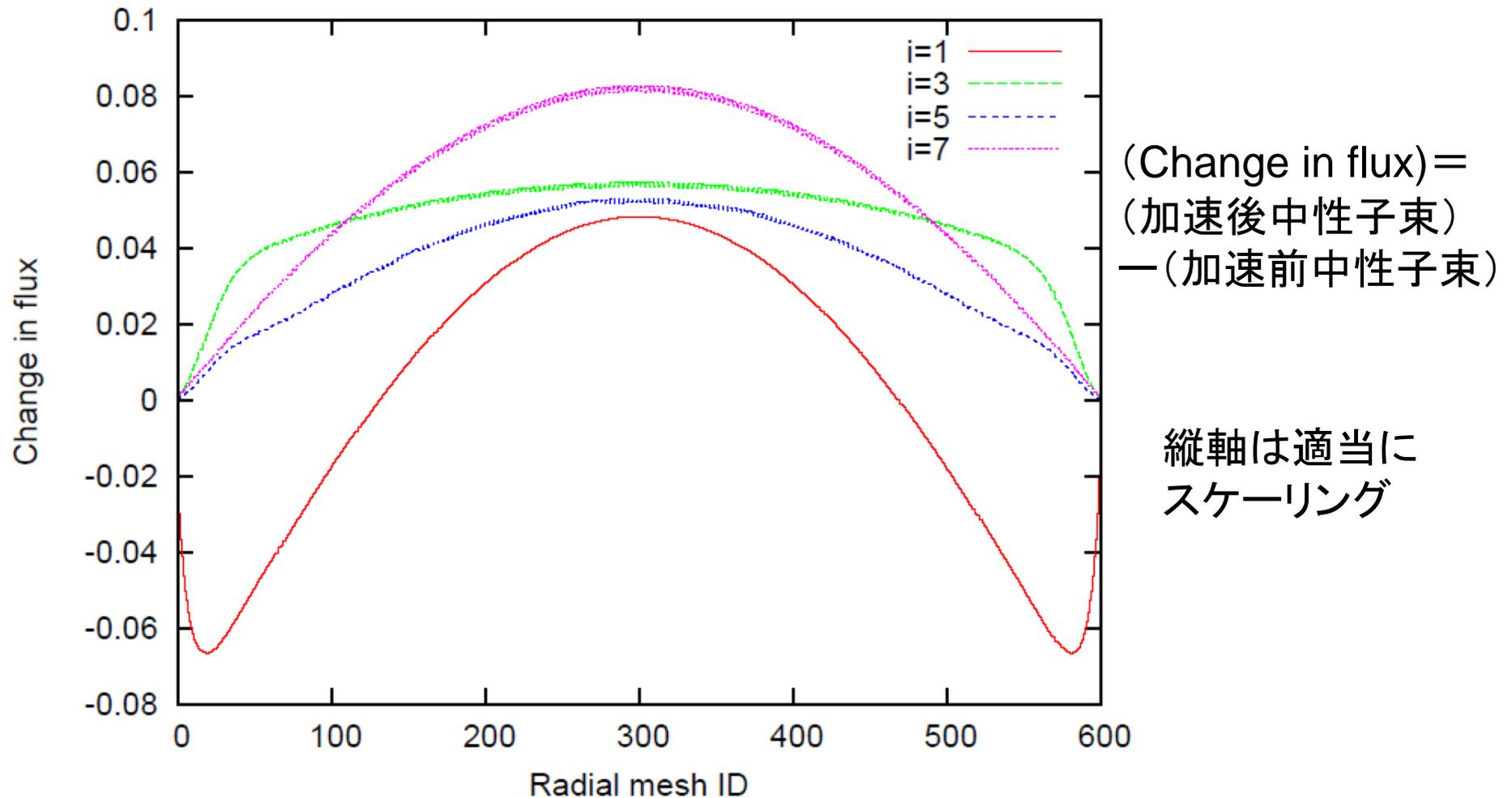
- 断面積は一群
- 収束条件: 中性子束相対残差 $1e-5$ 以下
- CMFD加速は外側反復2回あたり作動

[外側反復回数]

Free iteration : 531

CMFD : 7

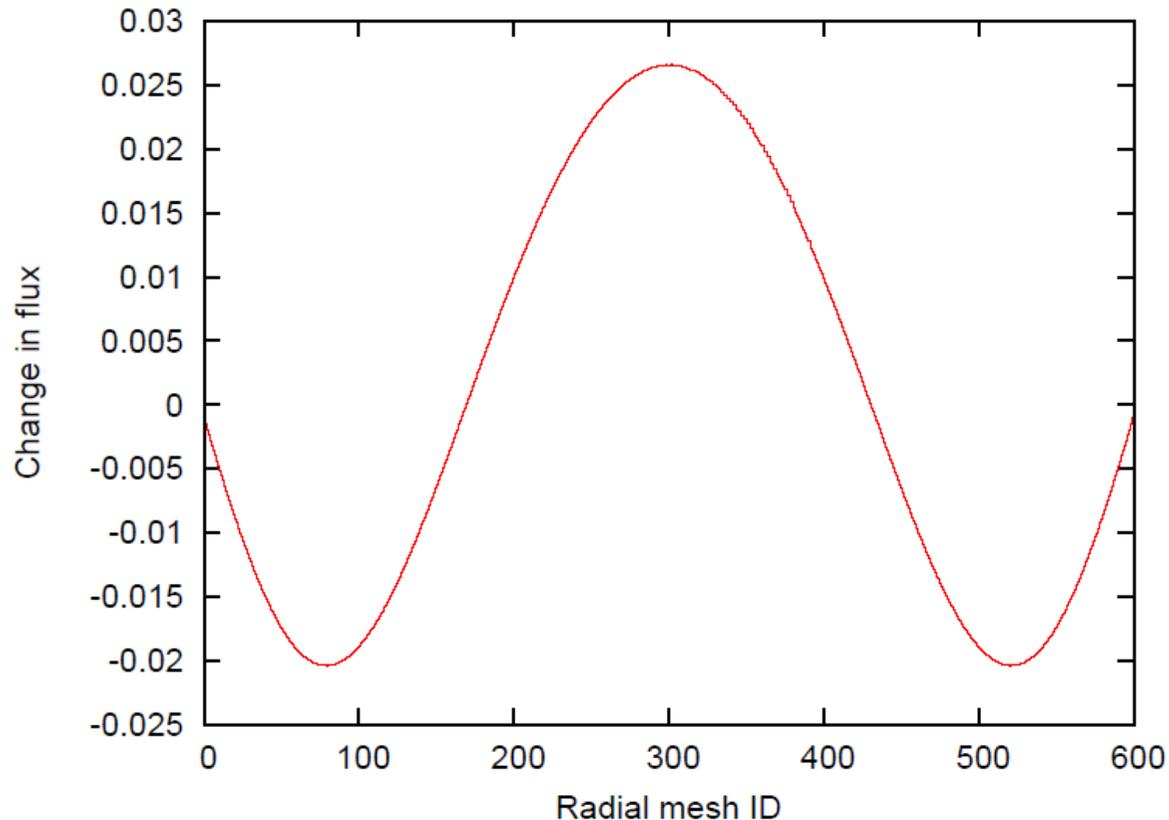
CMFD加速による中性子束の変動



外部反復1回目の加速では高次モード成分を除去していると言えるであろう(単純に考えると、CMFDでは基本モード近似解を計算しているので、基本モードのみを残しているだけ、とも言える)。3回目以降については高次モードとの関連は見えない(→「微調整」?)

CMFD加速による中性子束の変動

次に、外部反復50回目でCMFD加速を作動させた場合の、加速による中性子束の変動を見た。



この場合、予測値に含まれている高次モード成分はひとつだけ(他は全て減衰しきっている)なので、その分布がきれいにでている。
なお、CMFD加速後、外部反復4回で収束した。

CMFD加速における粗メッシュの大きさの影響

さらに、CMFD加速における粗メッシュの大きさの影響を観察した。

ケース1:メッシュベース

粗メッシュ=基準メッシュ(3メッシュ/セル*200セル=600メッシュ)

ケース2:セルベース

粗メッシュ=セル(1メッシュ/セル*200セル=200メッシュ)

- 通常のCMFD加速(外部反復2回あたりに作動)では、収束に要する外部反復回数は同じであった。
- 一方、外部反復50回目でCMFD加速を行った場合、その後必要となる外部反復回数は、ケース1では4であったが、ケース2では255となった！

CMFD加速における粗メッシュの大きさの影響

なぜ、セルベースCMFDでは収束性が悪化したのか？

(メッシュベースCMFDとの違い)

- ・CMFD計算でのメッシュ幅が粗い
 - 粗いメッシュによる離散化誤差？
- ・断面積の均質化が行われる
 - 均質化誤差？

単位セルを「Fuel+Fuel+Fuel」として同様の計算を行った
(→均質化の影響を排除)。

CMFD加速後の必要反復回数：

メッシュベース：35、セルベース：27

セルベースCMFDで収束性が悪化したのは粗メッシュ計算での離散化誤差が原因ではない模様

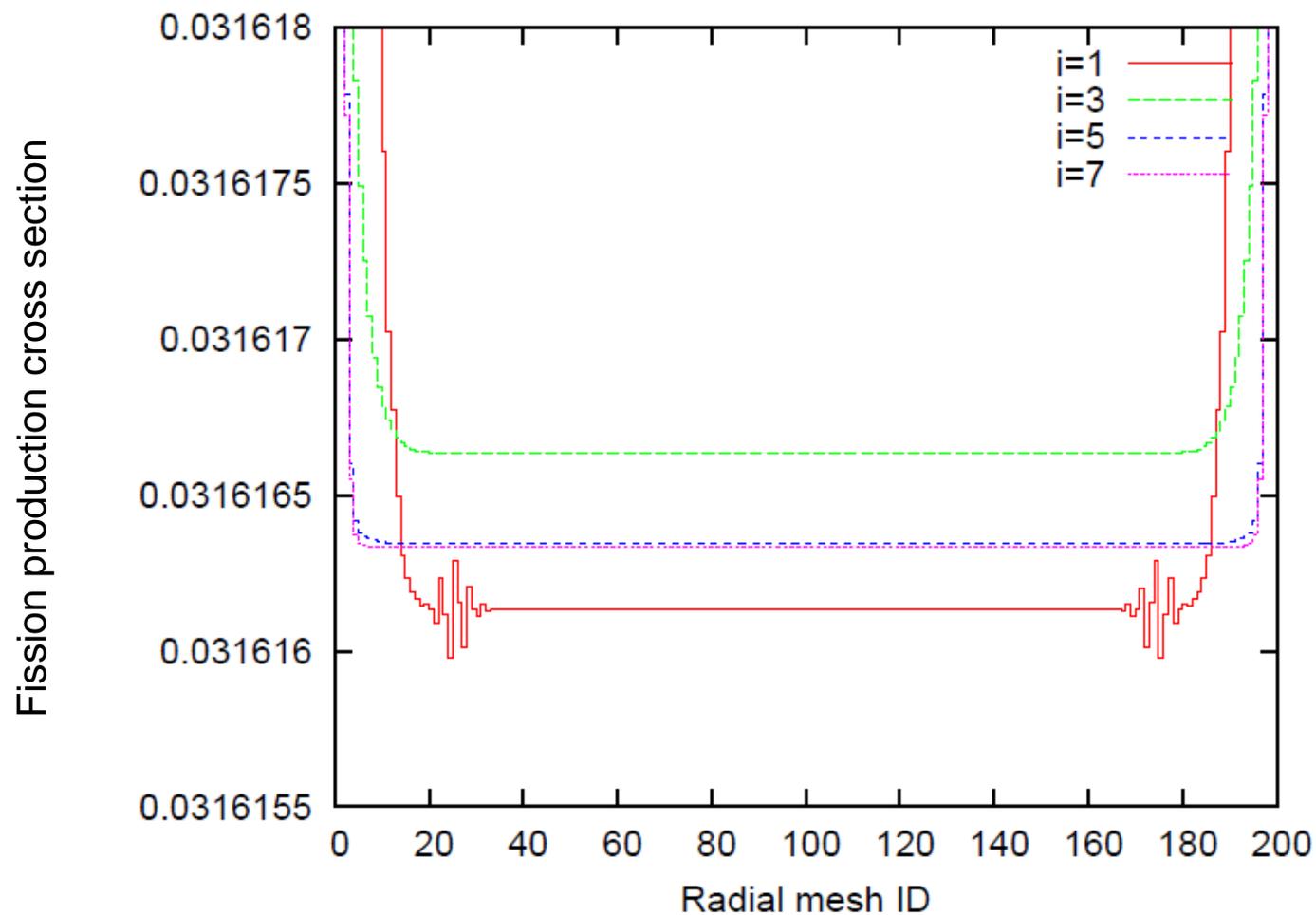
CMFD加速における均質化の影響を考える

(セルベース)CMFD加速での粗メッシュに対する均質化断面積は、収束解ではなく推定値で計算される。

すなわち、粗メッシュ計算収束解は、原式の収束解の反応率を保存しているわけではない。

(セルベース)CMFDでは、粗メッシュ計算での均質断面積も外部反復とともに収束させて、最終的な原式収束解を得ている、と言える。

セルベースCMFD加速での均質断面積の外部反復回数依存性



外部反復回数が大きくなるにつれて均質断面積が収束

まとめ: CMFD加速のイメージ

- はじめのCMFD加速で推定値に含まれる高次モードを除去(基本モードのみ残す)。
- 反復の後半は「微調整」。
- セルベースCMFDの場合は、粗メッシュ計算に使われる均質断面積の誤差があるため、この誤差も「微調整」で低減される。