

# 放射化計算ベンチマーク問題の解析における 散乱非等方性取り扱いの影響<sup>1</sup>

2025/4/2 改訂 千葉 豪

エネルギー群構造を詳細化した場合には、弾性散乱や励起レベル毎の非弾性散乱の群散乱断面積行列において、散乱先のエネルギー群のレサジー幅が小さいために、散乱先のエネルギー群毎に異なる角度依存性が現れることになり、低次のルジャンドル展開では近似誤差が大きく影響する可能性がある [1]。これは散乱によって失うエネルギーの大きさが広い範囲に及ぶ場合に顕著になることから、軽水素 H-1 との弾性散乱で影響が大きくなるものと考えられ、散乱源の計算において、こういった軽核による弾性散乱については、離散座標法を適用せず、有限体積法を適用するというアプローチも提案されている [2]。弾性散乱によって中性子のエネルギーは最大で  $\alpha = \left(\frac{A-1}{A+1}\right)^2$  倍となることから、レサジー増加量の最大値は  $-\ln(\alpha)$  として得られる。質量数  $A$  とレサジー増加量の最大値の関係を Fig. 1 に示す。

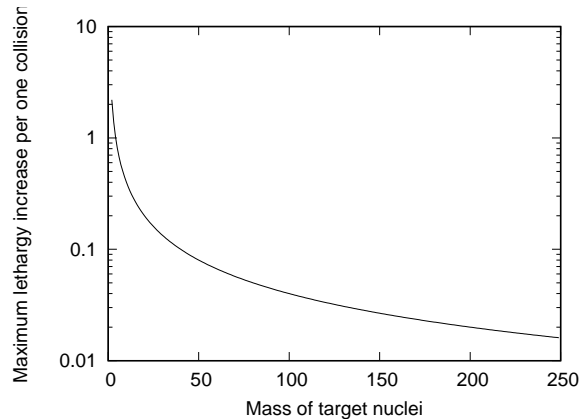


Fig. 1: Maximum lethargy increase per one collision

これまでに実施した計算では、最大で 4284 群のエネルギー群の詳細化を行っており、この場合には、9.1188 keV から 10 MeV のエネルギー領域について、各エネルギー群のレサジー幅を  $0.25/128=1/512$  としている。Fig. 1 では、例えば  $A=50$  の場合には最大レサジー増加幅は 0.08 程度となっていることから、エネルギー群数として 40 程度の幅に対応しており、上述の点が懸念される。

そこで、1次元球体系の放射化計算ベンチマーク問題の固有値問題を対象とし、4284 群の断面積を用いたときの散乱断面積のルジャンドル展開打ち切り次数の計算結果への影響を評価した。

<sup>1</sup> /Document/Study/Activation..JSPS/PnEffect

はじめに 110 群で Consistent P approximation を用いた結果を Fig. 2 と 3 に示す。領域 5 以降では P1 計算結果は大幅な過小評価を示しており、図によっては表示されていない。

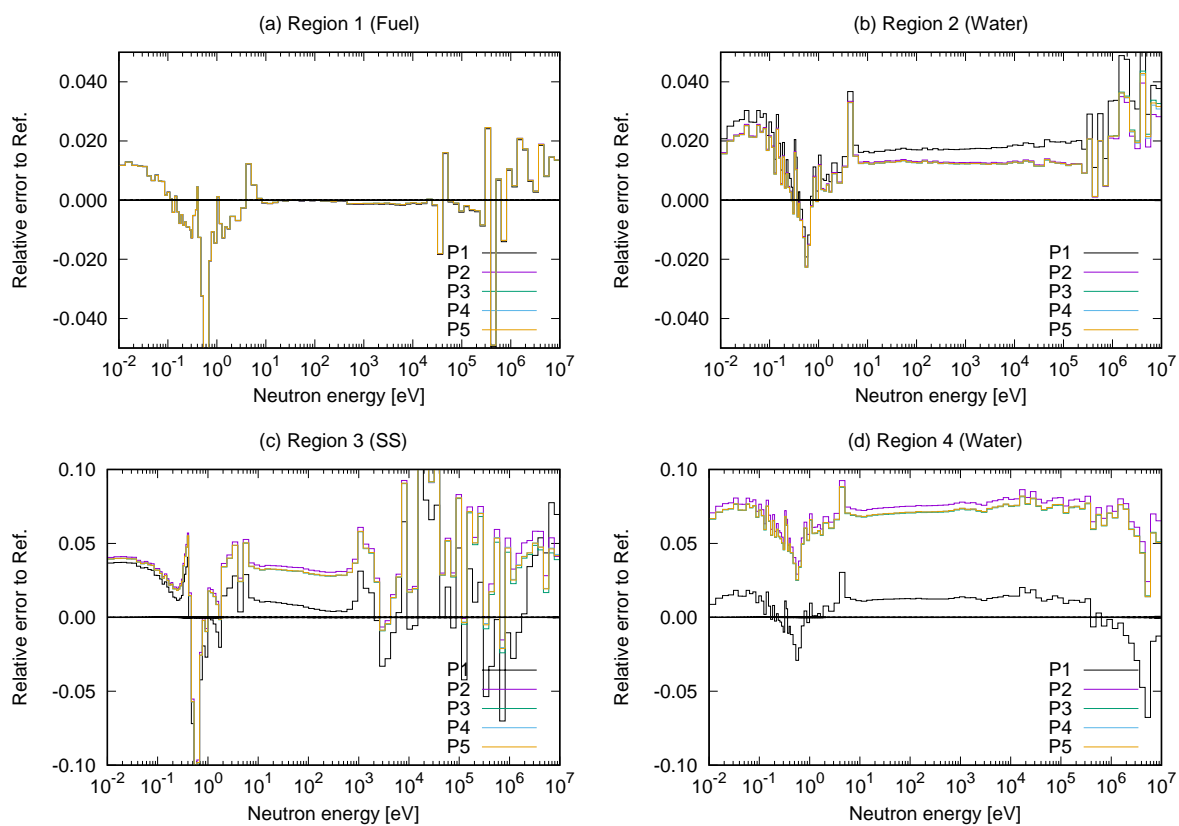


Fig. 2: Relative error of CBZ results in the region-averaged neutron fluxes with the 110-group structure with the consistent P approximation

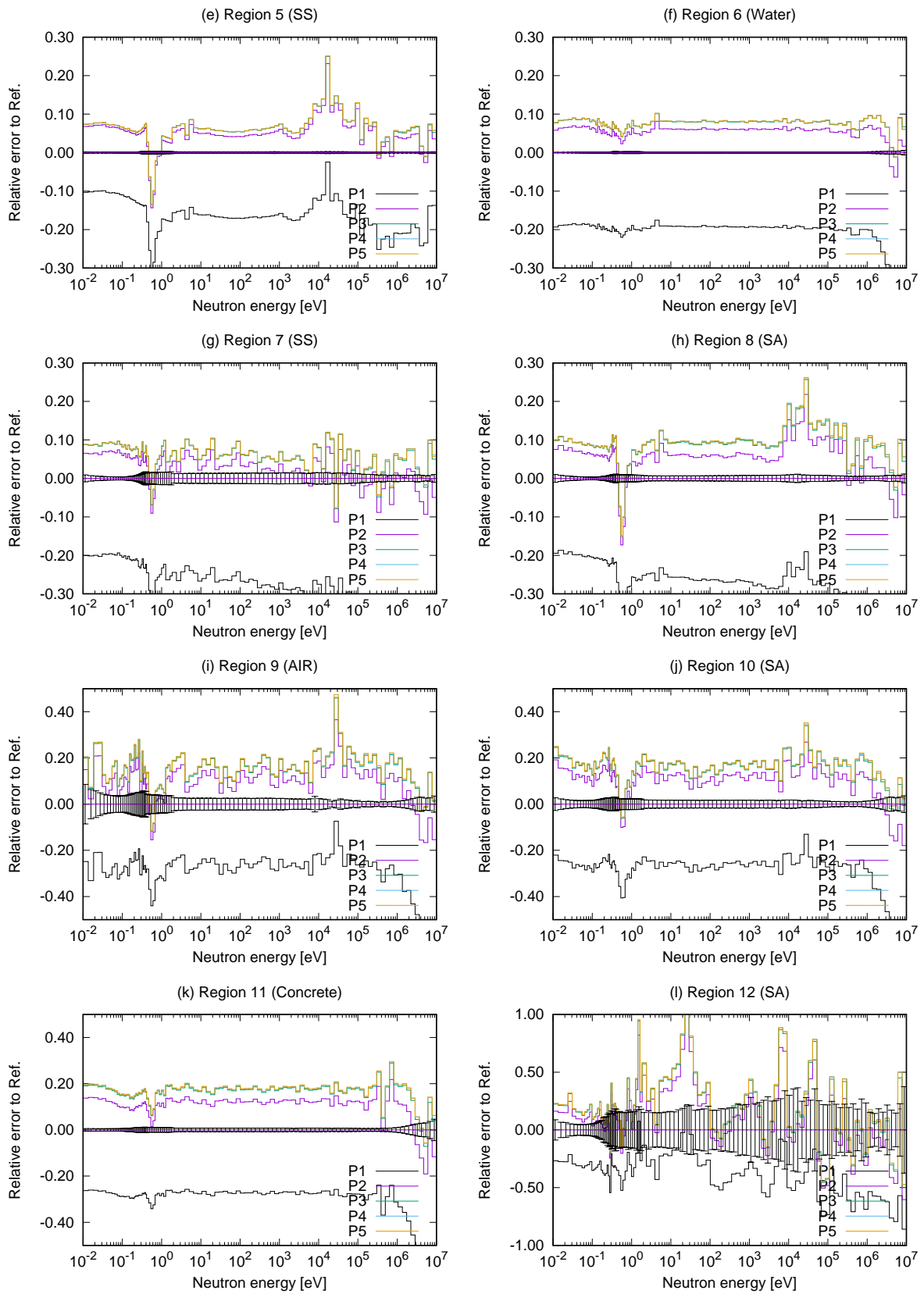


Fig. 3: Relative error of CBZ results in the region-averaged neutron fluxes with the 110-group structure with the consistent P approximation

110 群で Extended transport approximation を用いた結果を Fig. 4 と 5 に示す。P2 と P3 の結果の差異が、Consistent P approximation を用いた場合と比べて小さくなっていることが確認される。

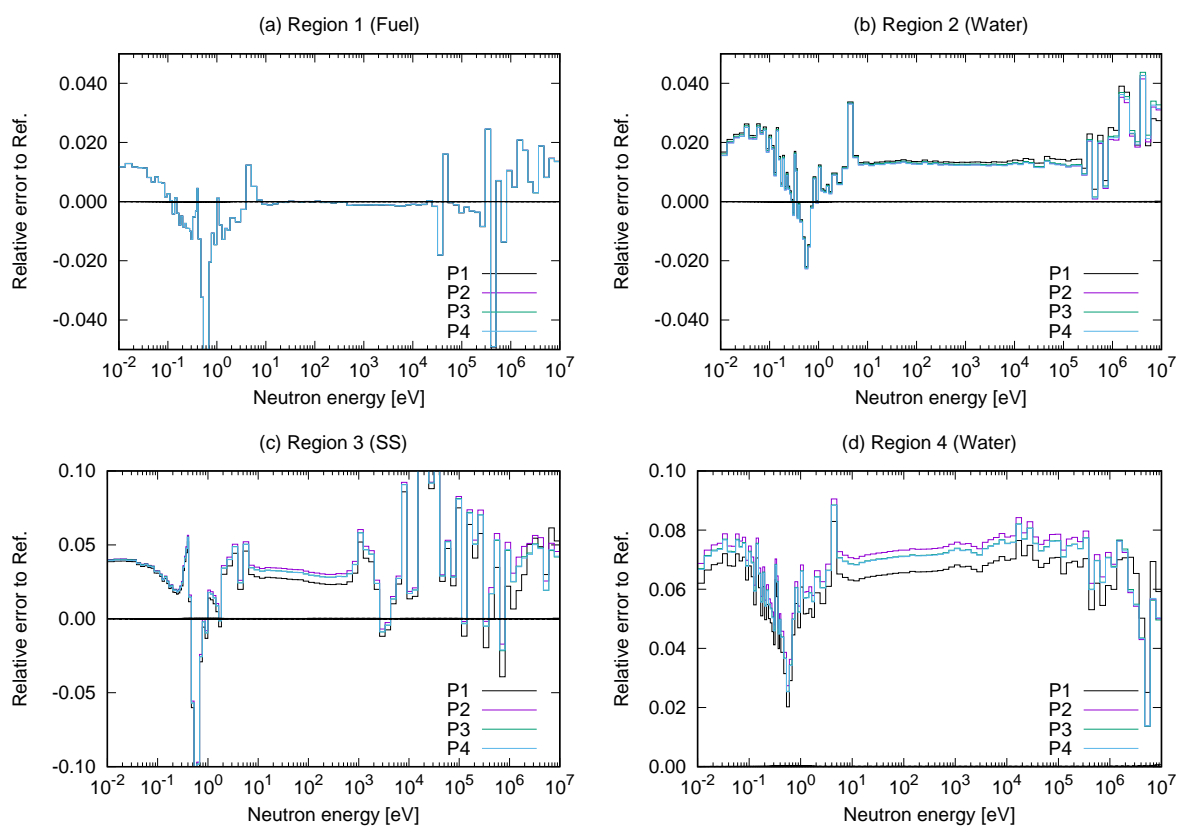


Fig. 4: Relative error of CBZ results in the region-averaged neutron fluxes with the 110-group structure with the extended transport approximation

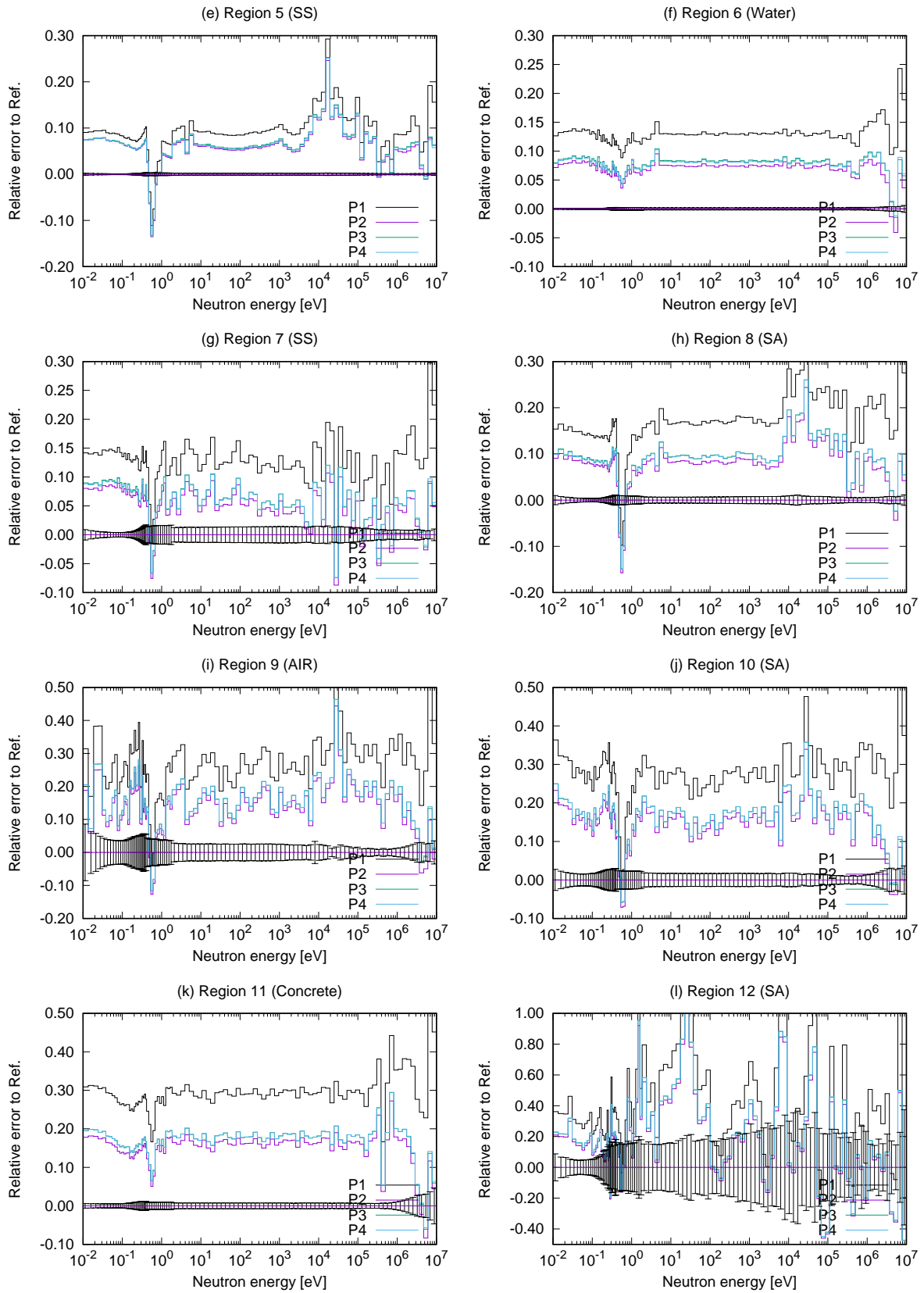


Fig. 5: Relative error of CBZ results in the region-averaged neutron fluxes with the 110-group structure with the extended transport approximation

4284 群で Consistent P approximation を用いた結果を Fig. 6 と 7 に示す。110 群の場合と同様、領域 3 以降で P1 による結果は大幅な過小評価となっており、図には示されていない。計算結果の非等方差乱次数に対する依存性は 110 群と大きくは変わらず、群構造が詳細化されたことによる非等方性の増加は観察されなかった。

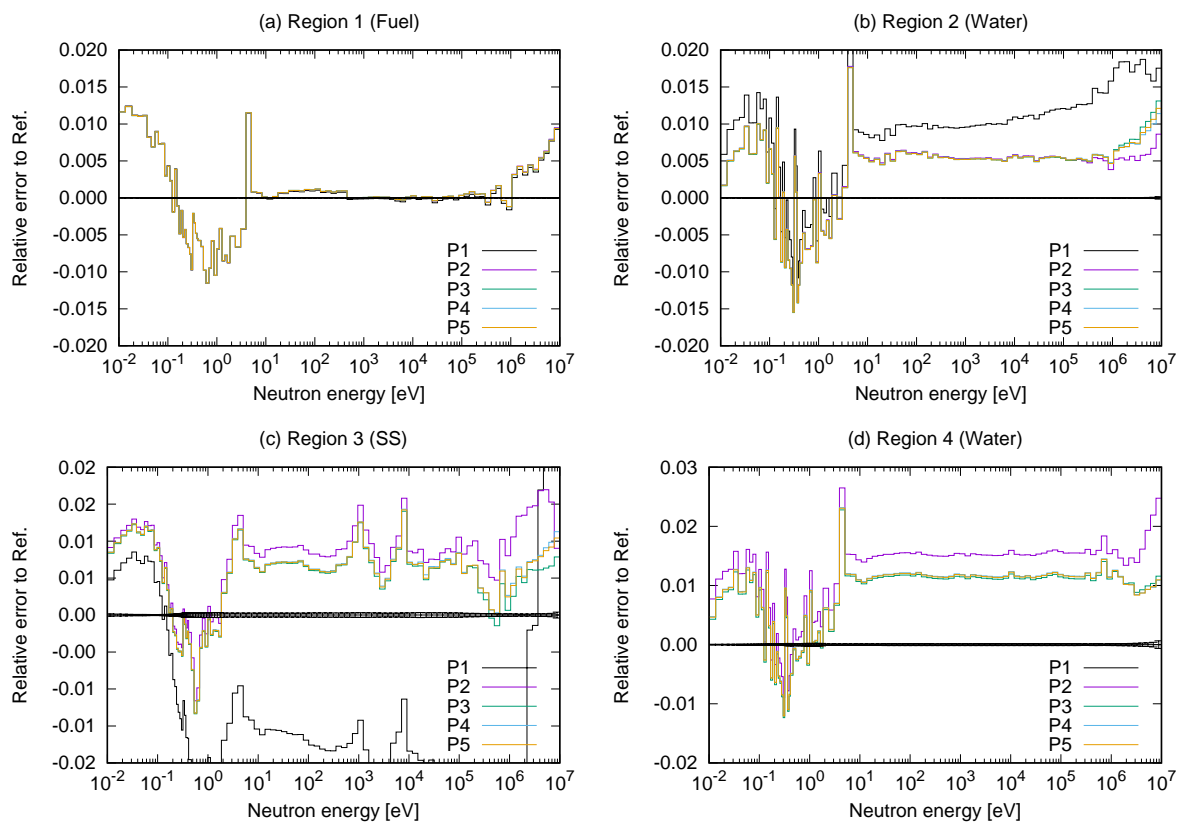


Fig. 6: Relative error of CBZ results in the region-averaged neutron fluxes with the 4284-group structure with the consistent P approximation

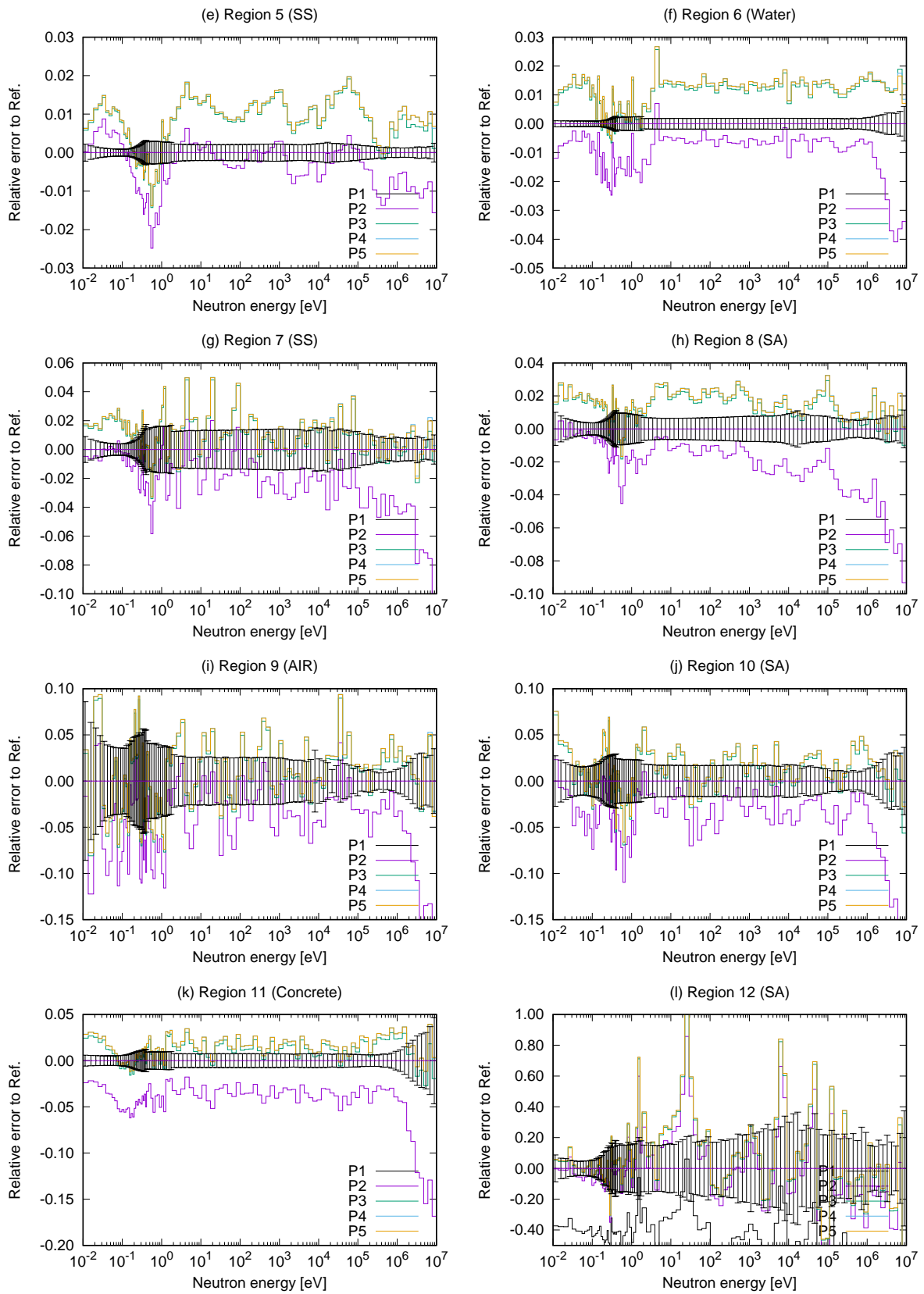


Fig. 7: Relative error of CBZ results in the region-averaged neutron fluxes with the 4284-group structure with the consistent P approximation

4284 群で Extended transport approximation を用いた結果を Fig. 4 と 5 に示す。なお、P1 では計算が発散したため、結果を示していない。Consistent P approximation と同様に、群構造が詳細化されたことによる非等方性の増加は観察されなかった。

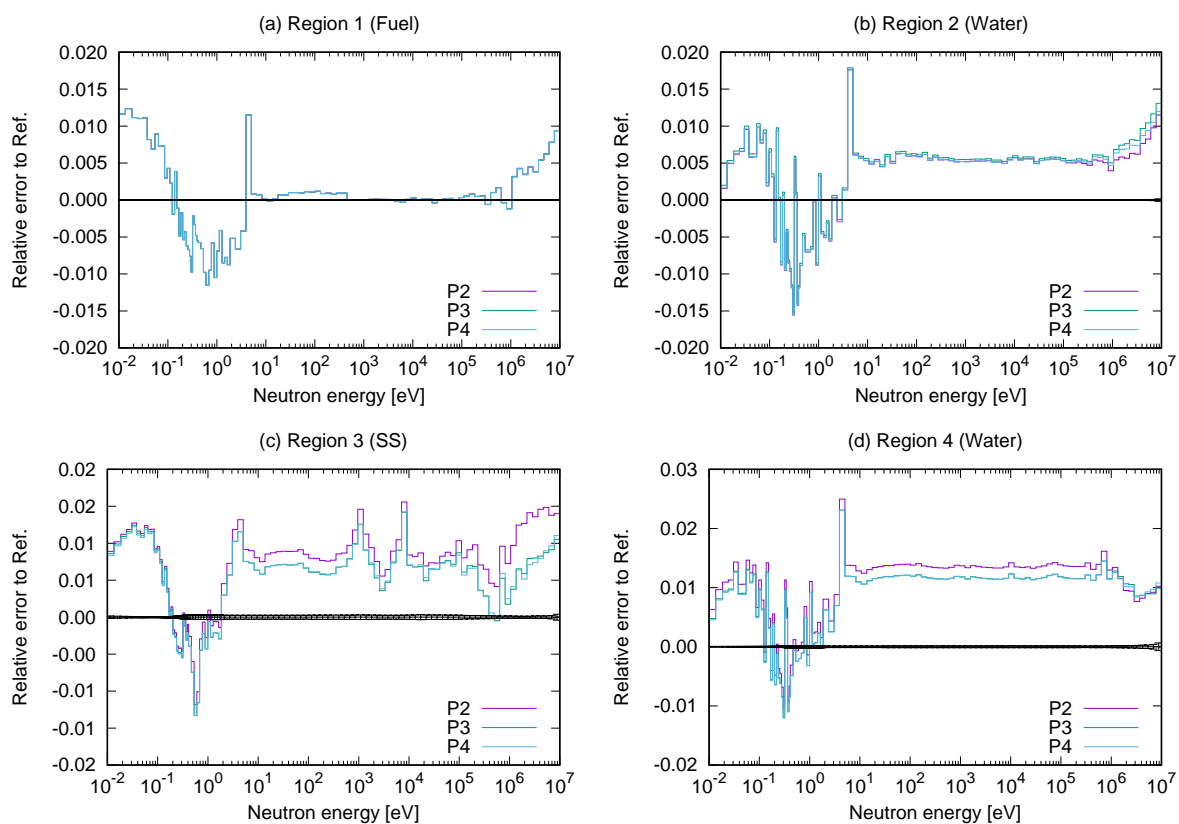


Fig. 8: Relative error of CBZ results in the region-averaged neutron fluxes with the 4284-group structure with the extended transport approximation



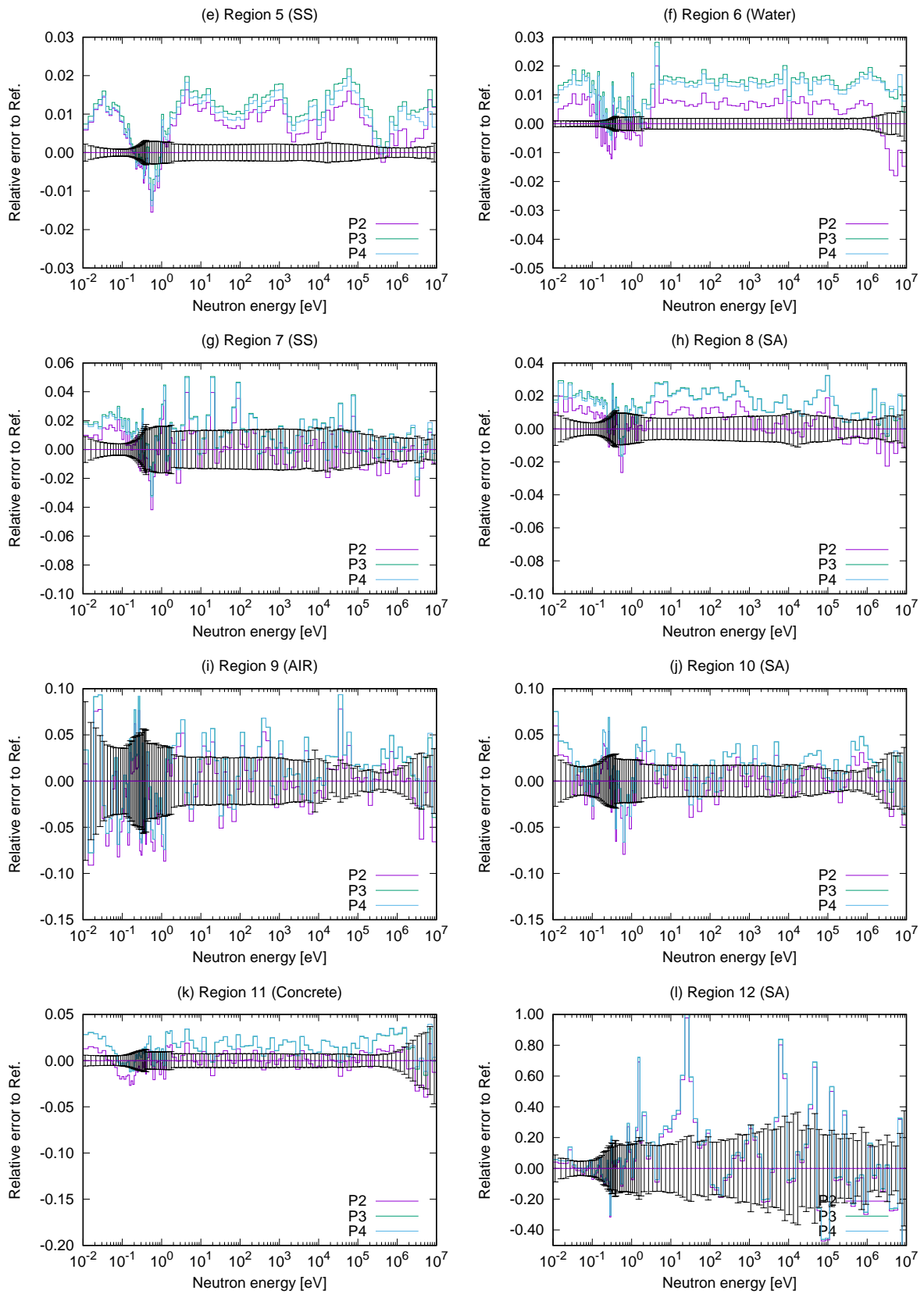


Fig. 9: Relative error of CBZ results in the region-averaged neutron fluxes with the 4284-group structure with the extended transport approximation

コンクリート領域（領域 11）には軽核が含まれることから、エネルギー群構造の詳細化による影響がより大きく現れる可能性がある。そこで、領域 11 とその外側の領域 12 について、4284 群での計算における 100 keV 以上の中性子束に着目し、P5 の Consistent P approximation による結果に対する差異を整理した。領域 11、12 の結果をそれぞれ Fig. 10、11 に示す。1%以内での一致を目標とする場合には、Consistent P approximation では P4 程度、Extended transport approximation では P3 程度が必要であることが分かる。また、P1 では不十分であること、数%以内の再現精度を目標とする場合には P2 extended transport approximation が望ましいことが分かる。

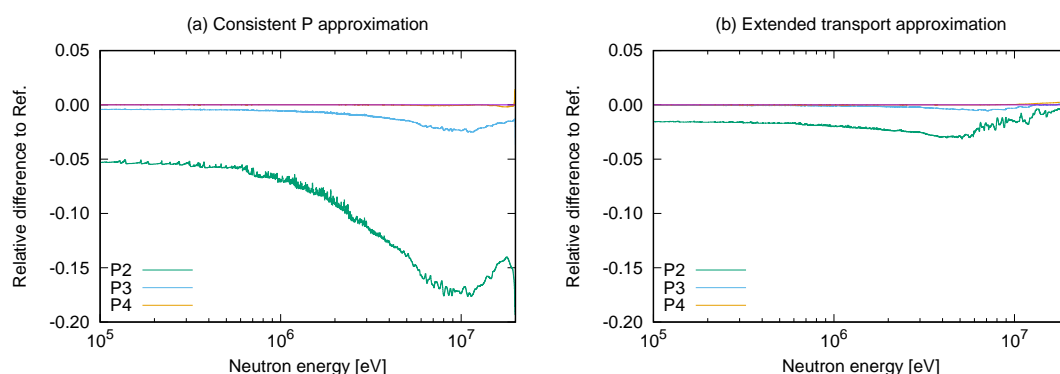


Fig. 10: Relative differences to the P5 result in the region-averaged neutron fluxes in region 11 with the 4284-group structure

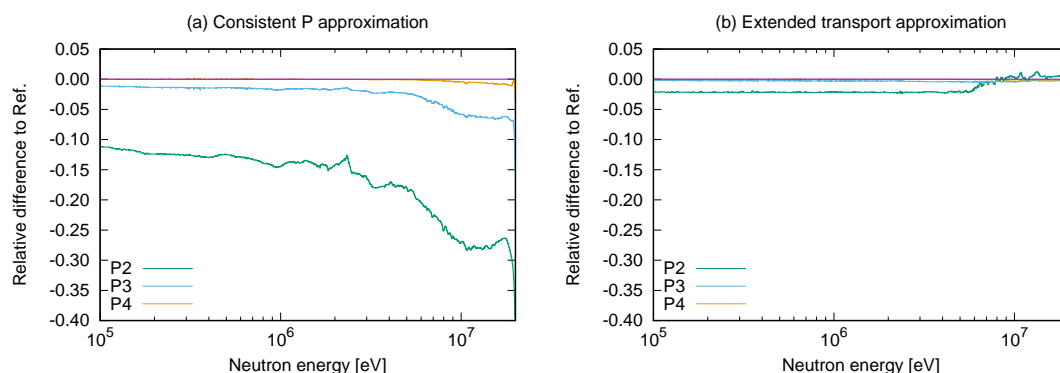


Fig. 11: Relative differences to the P5 result in the region-averaged neutron fluxes in region 12 with the 4284-group structure

## 参考文献

- [1] R. Sanchez, “Prospects in deterministic three-dimensional whole-core transport calculations,” *Nucl. Eng. Technol.*, **44**, p. 113-150 (2012).
- [2] A. Calloo, et al., “Angular finite volume method for solving the multigroup transport equation with piecewise-average scattering cross sections,” *Proc. Int. Conf. on Mathematics and Computational Methods Applied to Nuclear Science and Engineering (M&C2011)*, Rio de Janeiro, RJ, Brazil, May 8-12, (2011).