

# 弱結合炉心の計算をいろいろやってみた<sup>1</sup>

2022/7/11 千葉 豪

同一媒質からなる2つの燃料領域の間に水領域を挟む1次元平板体系を考え、水領域の厚さを変化させることで燃料領域間の核的な結合度を変化させ、固有値計算における収束特性など、様々なことを数値計算で観察した。媒質としては、テキスト「原子炉物理実験」に2群定数が与えられているKUCAのC35格子と水を考えた。厚さを15cmに固定した2つのC35燃料格子に水を挟み、外側には厚さ30cmの水反射体を配置、さらに外側の外部境界条件には真空条件を与えた。以上より、この炉心は、左から厚さ30cmの水、15cmの燃料、水(厚さ可変)、15cmの燃料、そして厚さ30cmの水、という5領域炉心となる。

はじめに拡散計算により得られた臨界固有値をFig. 1に示す。水領域の厚さをゼロから増加させると固有値が若干増加するが、水領域の厚さがある値以上になると、水領域の厚さの増加に伴い、臨界固有値は減少していき、最終的には完全に結合が切れた系の値に漸近していく様子が分かる。

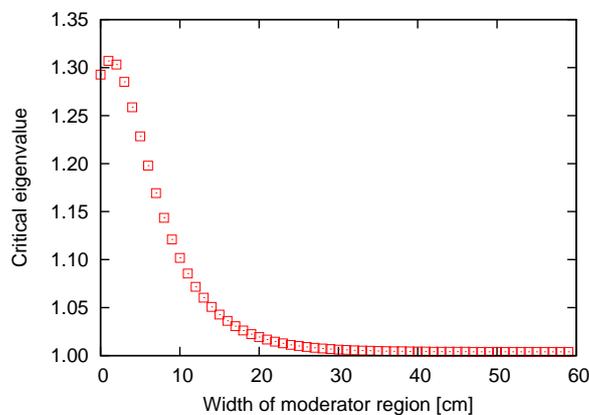


Fig. 1: Critical eigenvalues vs. width of water region

次に、拡散計算において収束に要した外側反復回数をFig. 2に示す。なお、この計算での収束条件としては、固有値と中性子束の反復残差を $10^{-10}$ 未満とした。また、初期核分裂源分布は片側の燃料領域のみに平坦として与えた。水領域の厚さが大きくなるに従って外側反復回数が大きくなるのは、片側の燃料領域に初期分布として与えられた中性子が、水領域を經由して隣の燃料領域に移動し、中性子の増倍を定期的に引き起こすために相当数の「世代」が必要となるから、と定性的に理解することができよう。

水領域の厚さと必要反復回数の関係は、基本モード固有値と1次モード固有値の違いとして定義される固有値間隔からも説明することが出来る。すなわち、固有値間隔が小さい体系では1次モードの減衰が遅いため、収束に至るまでに多くの反復を要するということである。Fig. 3には1次モード固有値の計算結果を基本モード固有値とともに示すが、水領域の厚さが大きくなるに従い、基本モードと1次モード固有値の差異は小さくなっていくことが分かる。1次モードの固有関数の空間分布をFig. 4に示す。水領域の厚さが30cmを超えると基本モードと1次モードの固有値はほぼ同一となっているが、Fig. 4に示されるように、水領域の厚さが大きい場合には、それぞれの燃料領域での1次モードの固有関数の形状は、それぞれの領域が独立に存在するとしたときの基本モードとほぼ同一と見做すことができることから理解できるであろう。

<sup>1</sup> /Document/Fundamental/WeaklyCoupled

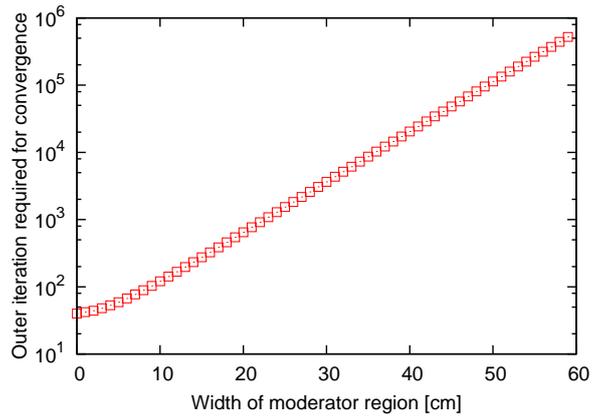


Fig. 2: The number of outer iterations required to attain convergence vs. width of water region

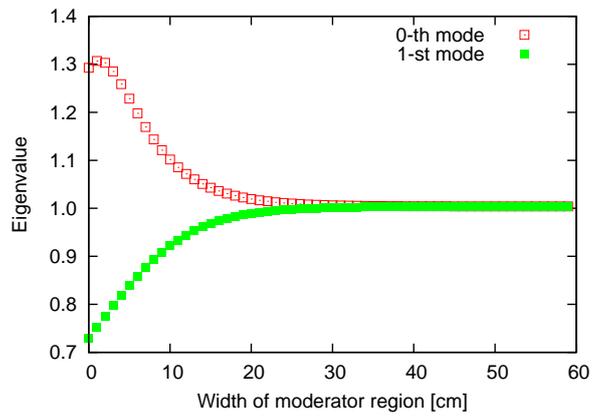


Fig. 3: 0-th and 1-st mode eigenvalues vs. width of water region

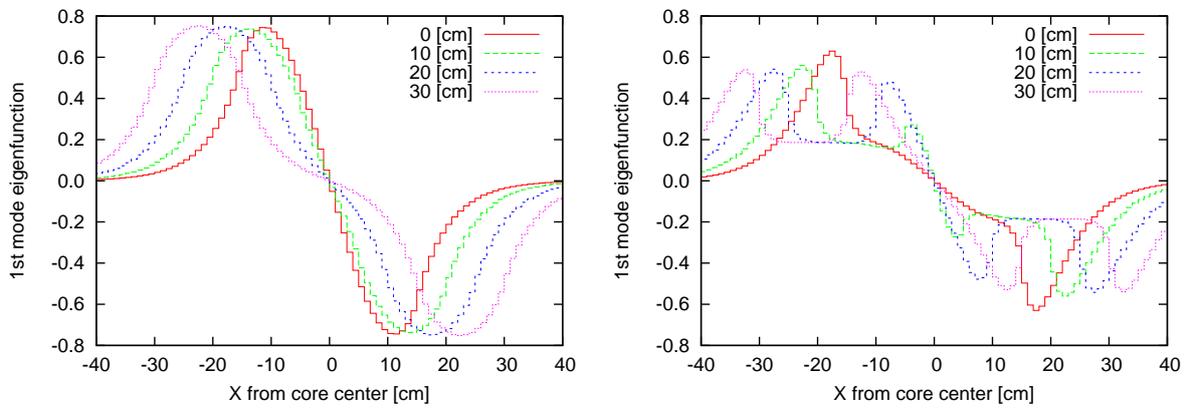


Fig. 4: 1-st mode eigenfunctions (left: fast, right: thermal)

系に局所的に摂動を与えた場合、摂動が与えられた位置と離れた位置に与える影響は、固有値間隔が小さい(核的結合度が小さい)ほど大きくなる、ということが言われている。では、固有値間隔がほぼゼロのような体系では、局所的な摂動が体系に大きな影響を与えるのであろうか?そこで、片側の燃料領域の2群の中性子生成断面積を0.1%増加させた際の高速中性子束の空間分布を、水領域の厚さを変えて計算した。結果を Fig. 5 に示す。固有値間隔の減少に伴い、断面積の摂動の影響、すなわち中性子束分布の非対称性が強く現れていることが分かる。領域間の結合が弱い場合には、摂動の影響は摂動が与えられた領域に大きく現れること、すなわち摂動が与えられていない領域に与える影響は無視できる程度となることは、直感的に容易に理解することができるであろう。

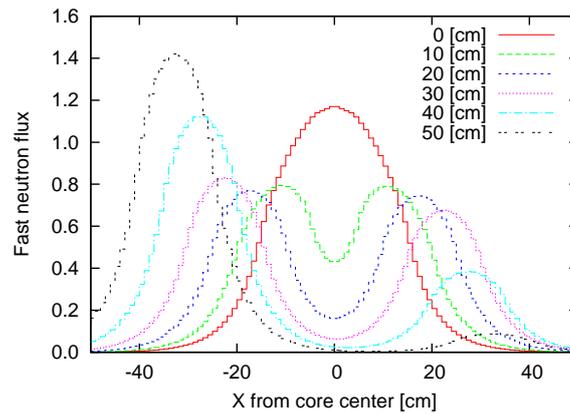


Fig. 5: Fast neutron flux spatial distribution after small perturbation to the left region