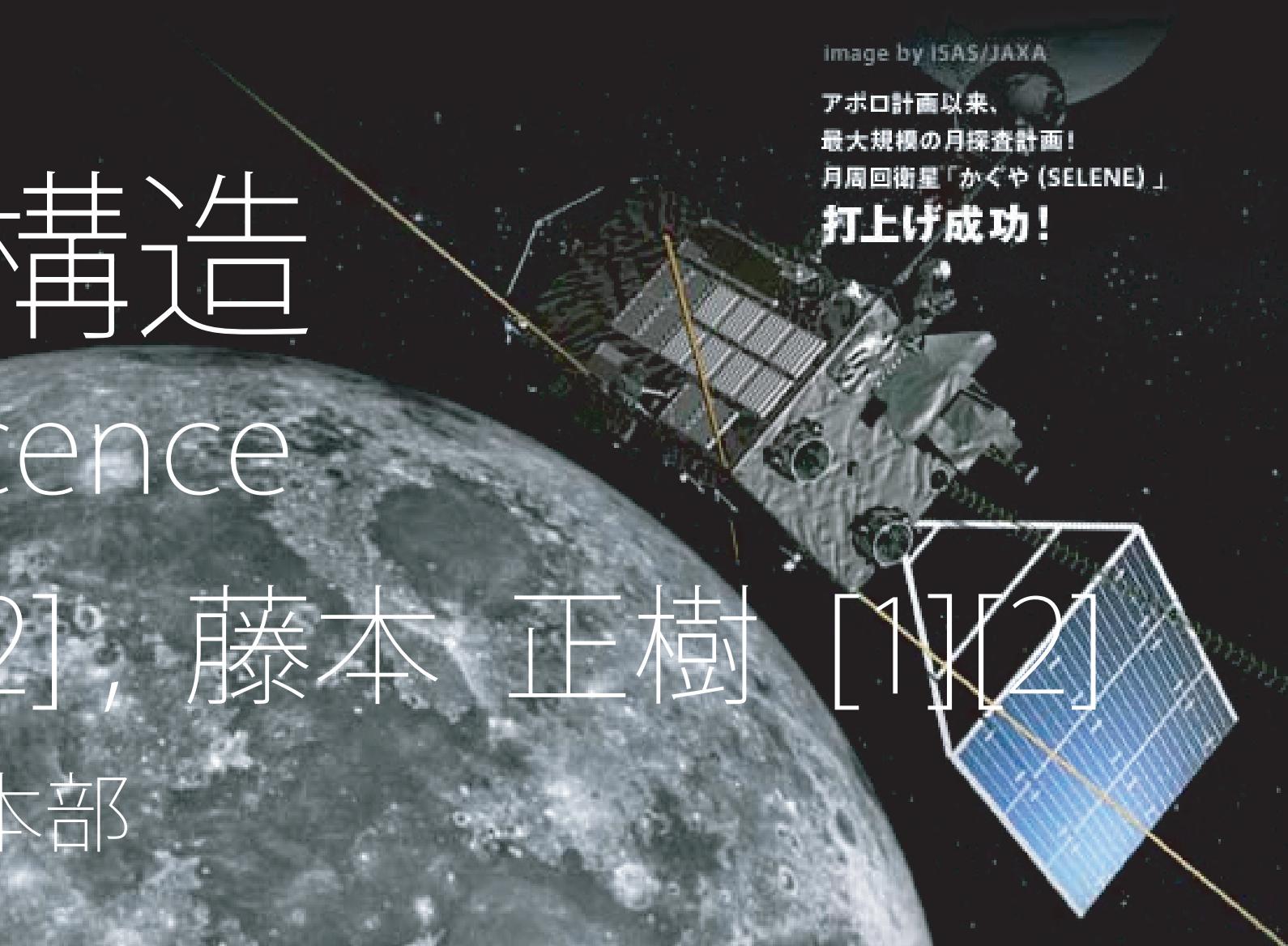


磁気島合体を経由する磁気リコネクションの構造

Structure of Magnetic Reconnection via Magnetic Islands Coalescence

* 湯村 翼 [1][2] yumu@stp.isas.jaxa.jp, 田中 健太郎 [2], 篠原 育 [2], 藤本 正樹 [1][2]
[1] 東京大学大学院 理学系研究科 地球惑星科学専攻 [2] 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所



磁気リコネクションによる粒子加速

宇宙プラズマにおける粒子の加速源として磁気リコネクションが重要な役割を担っていることが示唆され、加速メカニズム解明のための理論的及び観測的研究が進められてきた。惑星磁気圏や太陽フレアといった大規模な磁気リコネクション構造を形成する過程では磁気島合体を経由することが考えられるが、過去の研究では磁気島合体が粒子加速メカニズムに与える効果についてはあまり考察されてこなかった。本研究では磁気島合体を経由する / しない磁気リコネクションのシミュレーションを実行し、電子加速における磁気島合体の効果を明らかにする。

計算設定

PIC (Particle-in-cell) 法を用いて磁気リコネクションの 2 次元粒子シミュレーションを行った。初期条件に波数 8 の擾乱を擾乱を加え初期に 8 個の磁気島が生成される計算 ($nm=8$) と初めから単一な X-line を形成する計算 (SXL) を行った。

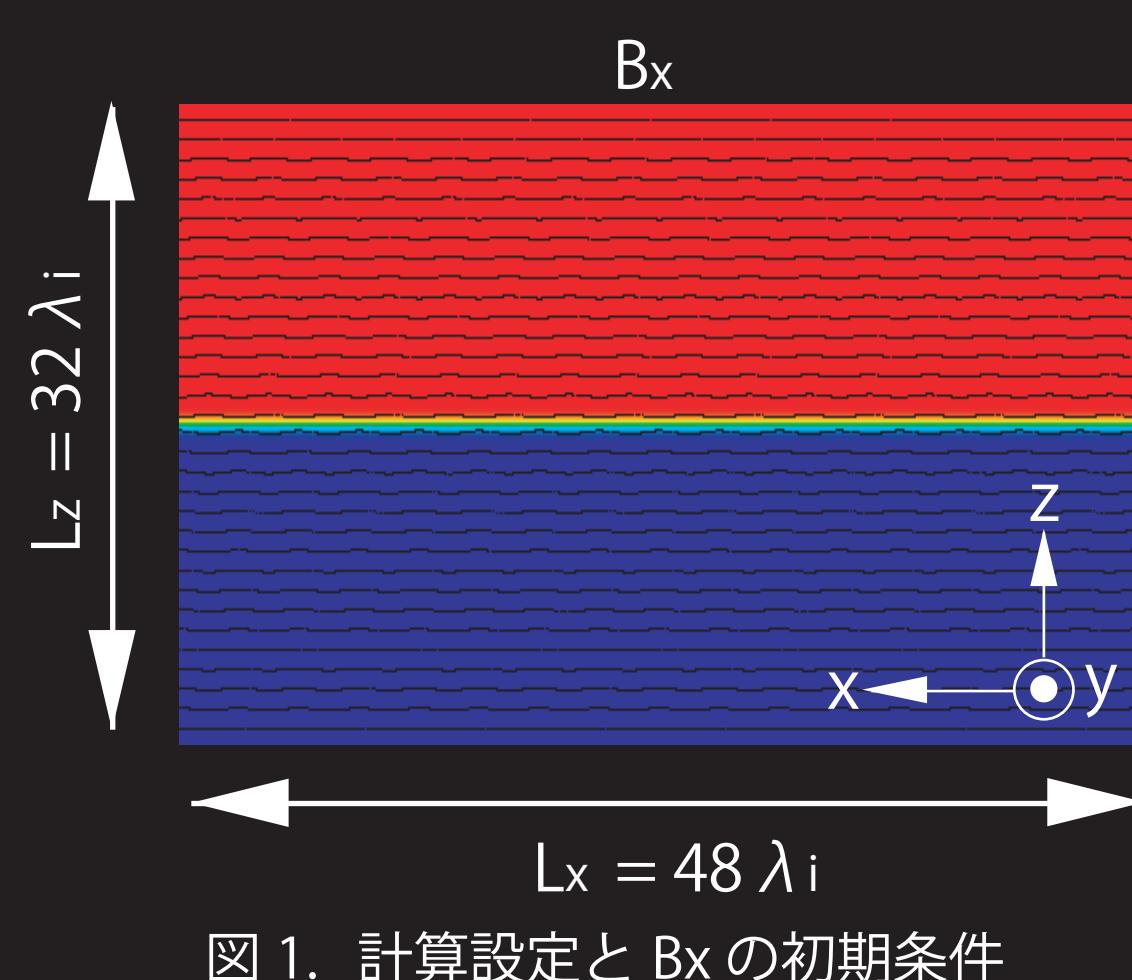


図 1. 計算設定と B_x の初期条件

磁気島合体を経由する場合の特徴

$nm=8$ では、2段階の合体を経由し (図 2)、X-line 付近ではこの合体相に対応して強電場が生じ電子が加速された (図 3)。磁気島合体領域でおこるリコネクションでも同様な構造の加速が生じたり、X-line での 2段階加速によって高エネルギー電子が 2重リング分布を形成するなど、磁気島合体の効果によって特徴的な電子加速構造が見られた。

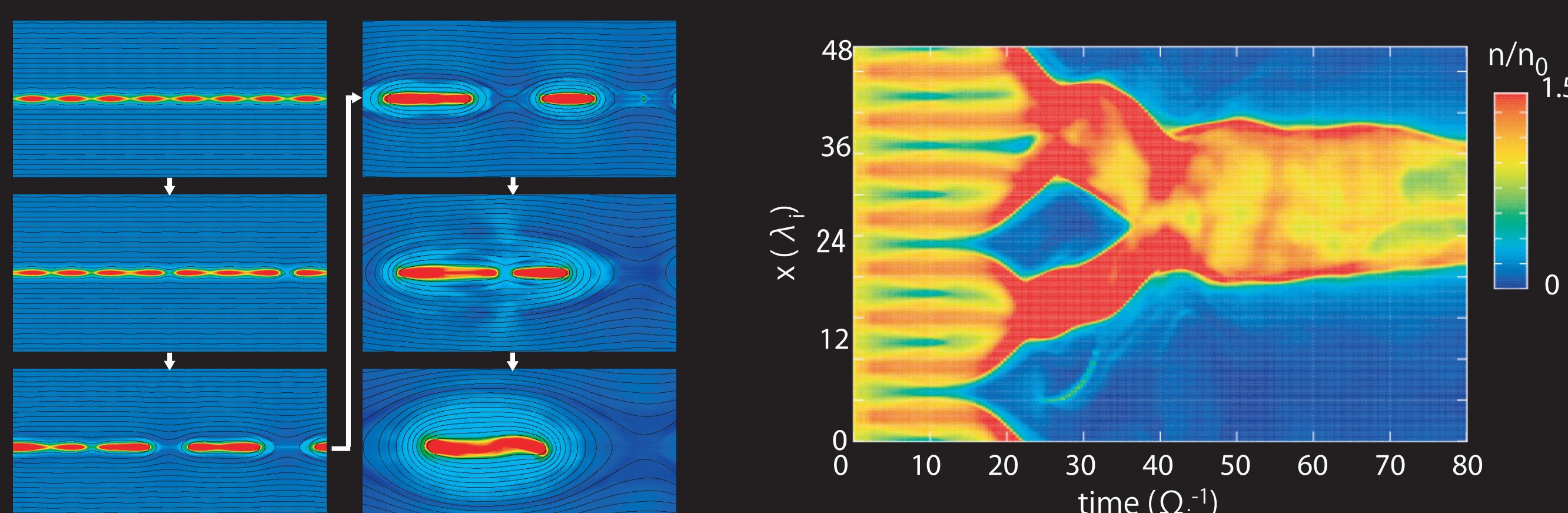


図 2. (左) 電子密度のスナップショットによる磁気島合体の様子。 (右) 磁気中性面 ($z=0$) における電子密度の時間変化。

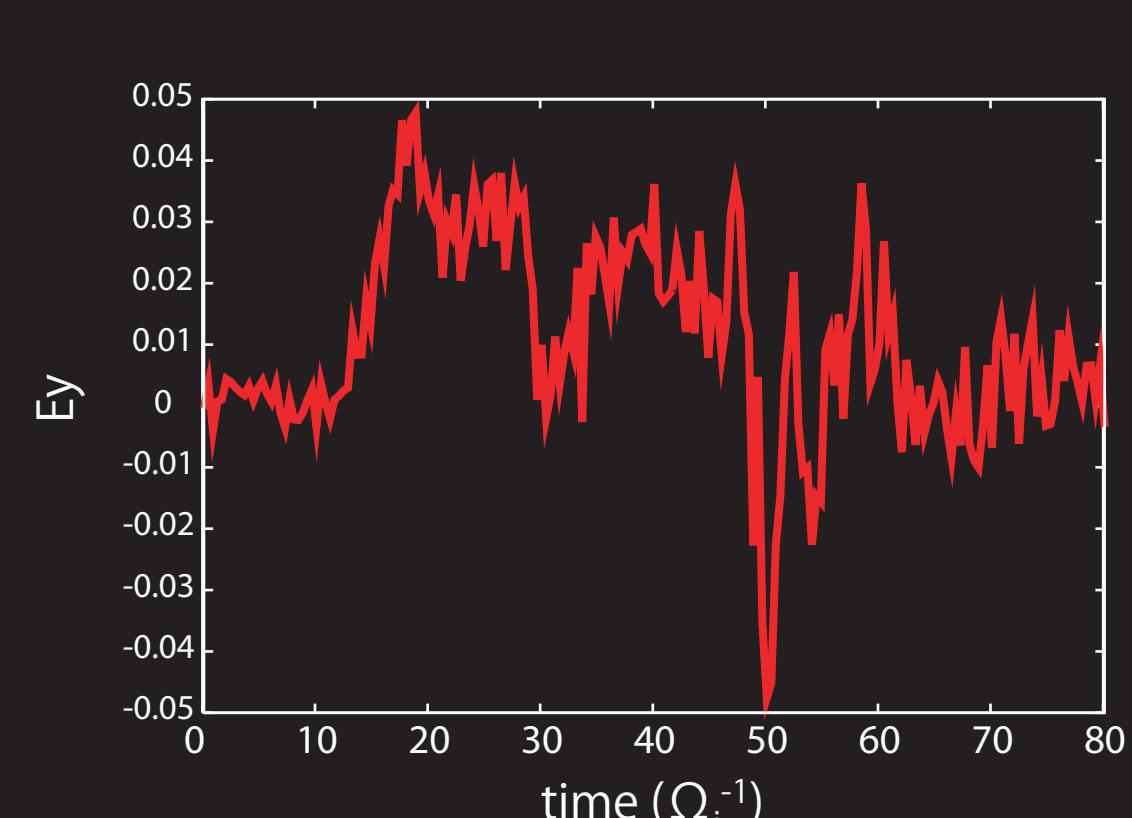


図 3. (左) X-line における E_y の時間変化。 (右) X-line における各時間帯でのエネルギースペクトル。
ただし $\varepsilon = \gamma - 1$ 。

$nm=8$ と SXL の最終エネルギーペクトルを比較した (図 4)。 $\varepsilon > 5$ で SXL が卓越するが、おおよそ似た形を示した。

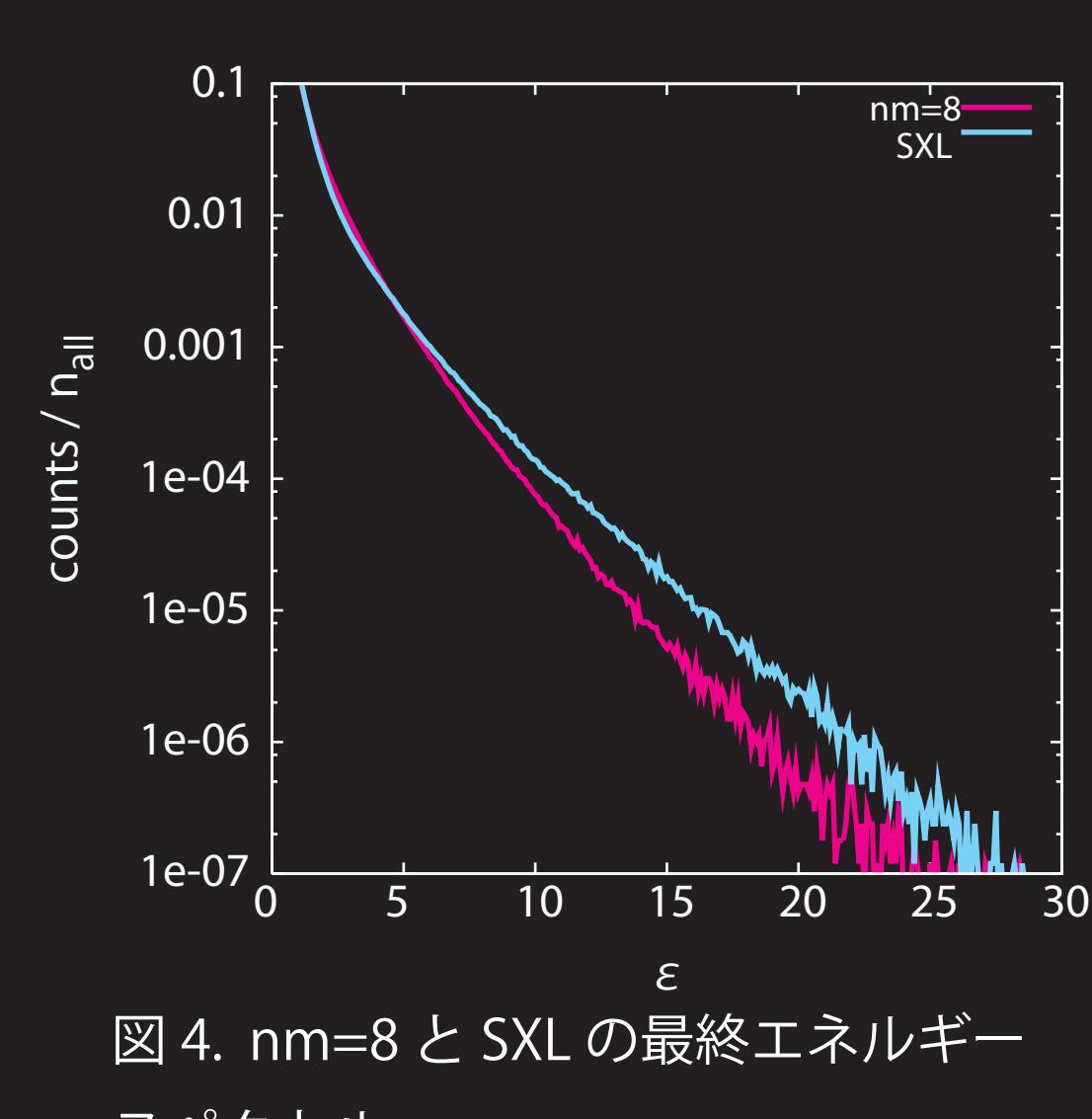


図 4. $nm=8$ と SXL の最終エネルギースペクトル

電子拡散領域の比較

電子拡散領域 (図 5) が加速領域であると仮定し、各計算の電子拡散領域を比較して電子加速を見積もる。電子拡散領域では磁場の凍結が破れ $E + V_e \times B \neq 0$ となる (図 6)。本発表では解析する電子拡散領域を以下のように定義する。

$z = 0$ (neutral Sheet)
 $(E + V_e \times B)_y / E_y > 0.5$
 $E_y > 0.02$

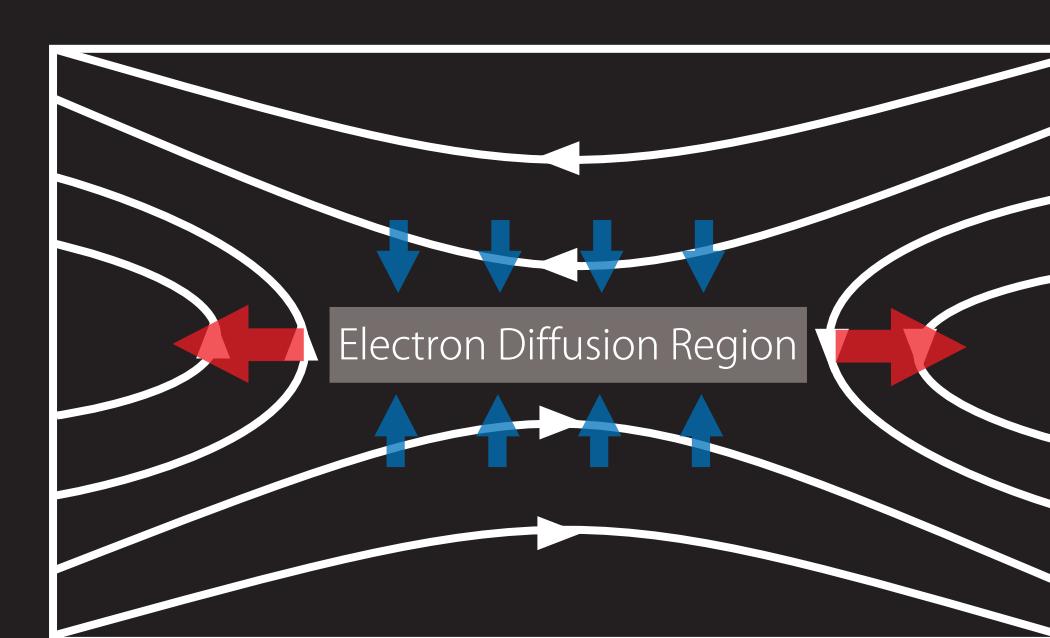


図 5. 電子拡散領域の概念図

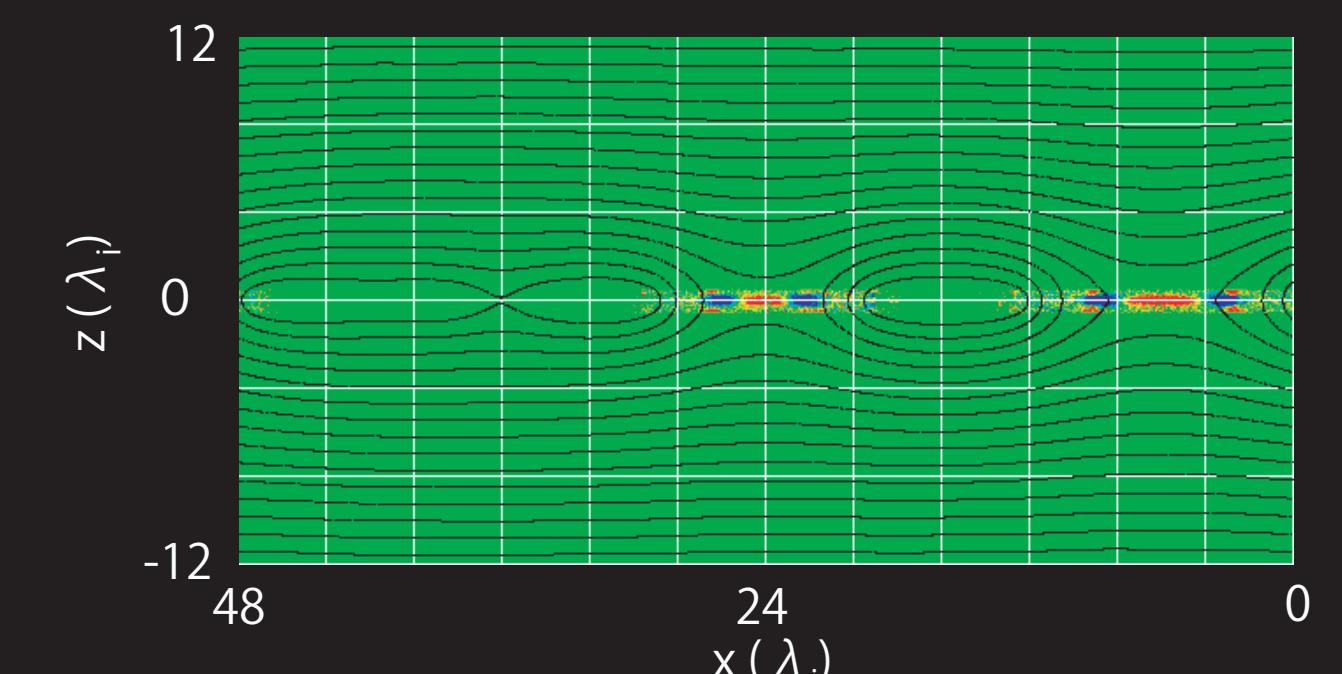


図 6. $(E + V_e \times B)_y$ のカラーコンター。赤い部分が電子拡散領域。

電子拡散領域を特定し時間変化を調べた結果、磁気島合体を経由する場合の方が電子拡散領域が長いという結果を得た (図 7)。

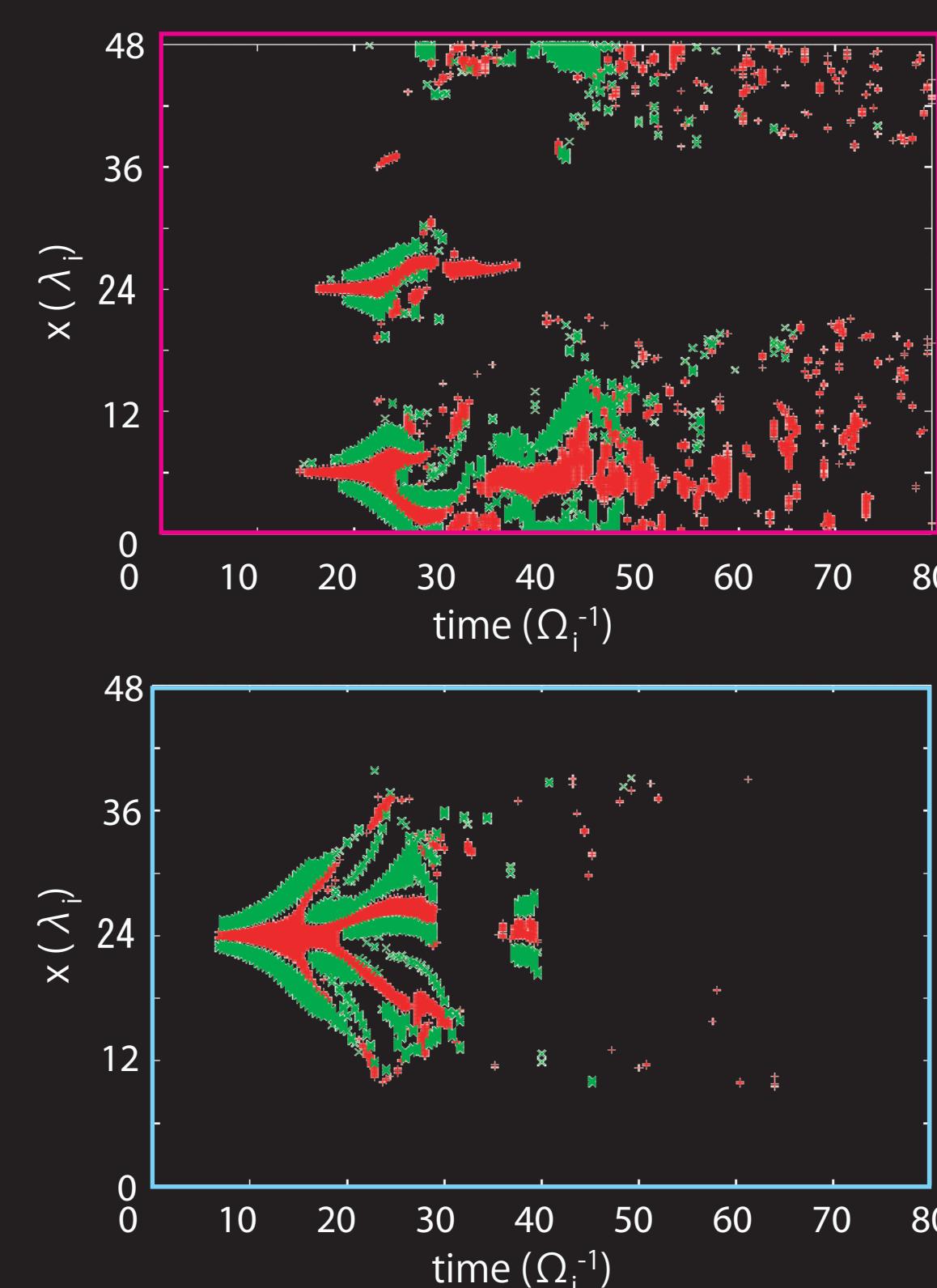


図 7. (左上) $nm=8$ の場合 (左下) SXL の場合の特定した電子拡散領域。赤が $(E + V_e \times B)_y / E_y > 0.5$ の電子拡散領域、緑は $(E + V_e \times B)_y / E_y < -0.5$ のアウトフロー領域。 (右) 電子拡散領域の長さの時間変化。

議論

電子拡散領域が長い $nm=8$ の方が電子拡散領域内にある延べ電子数が多いが、電子は受ける電場の総量は SXL の方が大きい (図 8)。 $nm=8$ と SXL のエネルギースペクトルの違いは、 $\varepsilon < 5$ では加速電子が多い $nm=8$ が卓越し、強電場を効率よく受けられる SXL では電子が高エネルギーまで加速されるため $\varepsilon > 5$ で卓越すると考えられる。

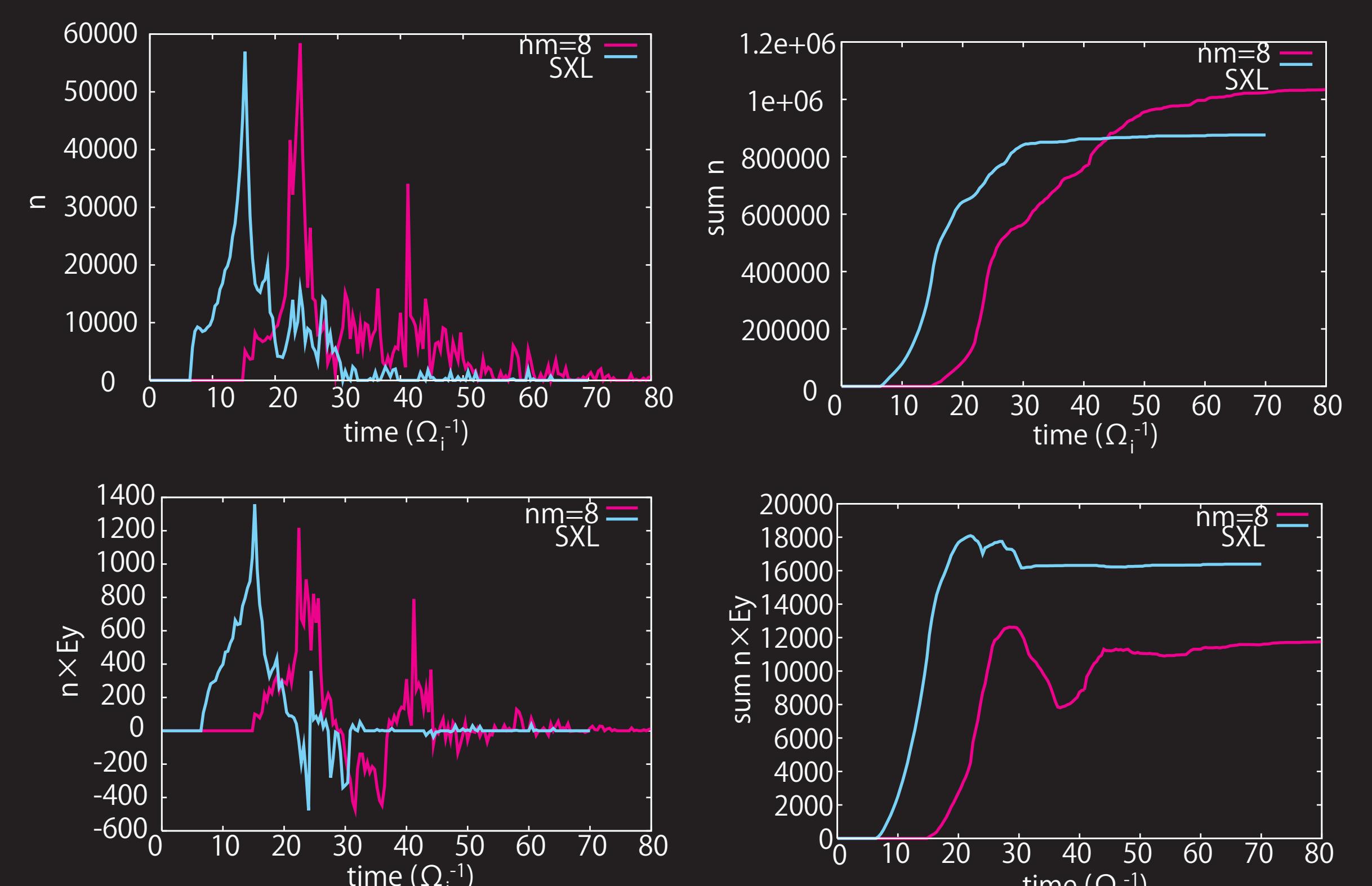


図 8. (左上) 電子拡散領域ないの電子数の時間変化。 (右上) 電子拡散領域内の延べ電子数。 (左下) 電子拡散領域内にある電子が受ける電場の総量の時間変化。 (右下) 電子が電子拡散領域内で受ける延べ電場。