

## 電子ビーム不安定性により励起されたLangmuir乱流の非線形性について

# 成行 泰裕 [1]; 梅田 隆行 [2]  
[1] 高知高専・電気情報; [2] 名大 STE 研

### On nonlinearity of Langmuir turbulence excited by the electron beam-plasma interactions

# Yasuhiro Nariyuki[1]; Takayuki Umeda[2]  
[1] KNCT; [2] STEL, Nagoya Univ.

<http://www.ee.kochi-ct.ac.jp/~nariyuki/>

The amplitude-modulated Langmuir waves are frequently observed in the solar wind, the earth electron foreshock, magnetosphere, ionosphere and so on. The past numerical studies suggest that some of Langmuir turbulence in these regions and in type III solar radio bursts are consequences of the electron beam - plasma instabilities.

In the case of weak electron beam - plasma interaction, it was suggested that the mechanism of the amplitude modulation is due to the beam electrons nonlinearly trapped by the excited waves (Akimoto et al, 1996). Recently, Vlasov simulations of weak electron beam - plasma interaction has suggested that Langmuir waves may not be directly modulated by the nonlinear trapping but be modulated by nonlinear interaction between the most unstable primary Langmuir mode and its sideband modes (Umeda, 2006; 2007). Silin et al (2007) suggests that the temporal change of velocity distribution function of beam electrons due to the nonlinear trapping and plateau formation leads that the linearly growing modes shift to the higher wave numbers and results in the broadband wave number spectrum.

On the other hand, the linear theory used in Silin et al (2007) is invalid at the nonlinear stage that the primary wave modes are saturated. Actually,  $\omega - k$  spectrum at the nonlinear stage in Silin et al (2007) does not agree with the linear theory. In the present study, we analyze the data sets produced by one dimensional Vlasov-Poisson simulation of the weak electron beam - plasma instability in order to discuss the nonlinearity of the Langmuir turbulence. We find that (i) the instantaneous frequencies of the linearly unstable modes are controlled by the linear processes, (ii) nonlinear interactions among Fourier modes play more important roles in evolution of the system than the linear instability after the primary wave modes saturate, (iii) nonlinearity in the system comes from the advection rather than ponderomotive forces. These results suggest that the estimation of the nonlinearity possibly declare the origin and evolution processes of the Langmuir turbulence observed by the space craft, and the previous theories of Langmuir wave instability, which assume the weak-turbulence and/or focus on the nonlinearity of the ponderomotive forces, may be invalid even in Langmuir turbulence excited by the weak electron beam - plasma interactions.

太陽風中や地球フォアショック領域、磁気圏、電離圏においては、振幅変調を伴うLangmuir波が頻りに観測されている。過去の数値シミュレーションから、このようなLangmuir乱流は電子ビーム不安定性の発展の結果として得られることが明らかにされており、観測されているLangmuir乱流のいくつかや太陽電波バーストの一部などは電子ビーム不安定性が起源であると考えられている。

このような振幅変調を伴うLangmuir乱流の生成過程においては、弱い電子ビームの場合には有限振幅波動によるビーム成分の非線形捕捉が重要な役割を果たすという指摘がこれまでになされていた (Akimoto et al, 1996)。一方で、近年になり高精度なブラソフシミュレーションを用いたLangmuir乱流の発展過程の詳細な研究が行われ、Umeda(2006,2007)ではある初期条件下では基本波によるビーム成分の非線形捕捉は振幅変調を直接的に励起せず、側帯波と基本波の非線形相互作用が振幅変調の生成に重要であることが報告された。また、Silin et al (2007)では、電子ビームの捕捉に伴う速度分布関数の変化によって線形不安定な波数モードが結果的に広帯域になることが振幅変調を生成しているという指摘がなされた。

一方で、Silin et al (2007)で述べられている線形不安定性による解釈は基本波が飽和した非線形段階においては妥当性が無く、実際にSilin et al (2007)などで報告されている非線形段階における波数-周波数スペクトルには線形解析の結果との有意な差が見られる。本研究では、Umeda(2008)により開発された高精度スキーム (PICスキーム)を用いた電子ビーム不安定性のブラソフシミュレーションを行い、得られたデータを用いて励起されたLangmuir乱流の非線形性についての詳細な解析を行った。その結果、(i) 線形不安定なモードは飽和段階においても非線形性があまり大きくないこと、(ii) 系全体の発展においては、モード間の非線形相互作用の方が線形不安定性よりも重要になること、(iii) 非線形相互作用の中でも、ポンデロモーティブな成分の寄与は少なく対流項の作用が重要であること、が明らかとなった。これらの結果は、観測されたLangmuir乱流の非線形性の評価によりそのLangmuir乱流の起源・発展過程を明らかにし得ること、弱乱流的な近似やポンデロモーティブ力による非線形性を重視した従来のLangmuir波の不安定性理論が弱い電子ビームによるLangmuir乱流の励起の場合でもその妥当性が疑われること、などを示唆している。