

プラズマ波動と near-field

中村 匡 [1]
[1] 福井県大

Waves and Near-Fields in Plasmas

Tadas Nakamura[1]
[1] FPU

<http://www.fpu.ac.jp>

Solutions to Maxwell's equations consists of two parts: propagating components (electromagnetic waves) and the near-field. Unfortunately, there seems to be considerable confusion on the latter. For example, Coulomb interaction is often explained as the result of interchange of virtual photons, however, the Coulomb field is not a photon but a near-field. Also, little attention is paid to the difference between propagating plasma waves and plasma near-fields in space physics.

The near-field is understood as the off-shell solution to the inhomogeneous linear equations; the term "off-shell" means solutions that do not satisfy the dispersion relation. When the field source is static (Coulomb field or magnetic dipole, for example), it is easy to decompose the field into waves and off-shell near-fields. Here in this talk, the way to do this decomposition for time-dependent field source is explained. When we solve Maxwell's equations, usually we make use of Fourier-Laplace transform to obtain the dispersion relation. The time dependence of the fields is obtained by the inverse Laplace transform using the residue theorem; the wave components are obtained from the residue at the pole of dispersion relation. One can obtain the near-field component by subtracting this residue contribution from the solution of the inhomogeneous equations.

This result can give answers to a variety of questions. Is the earth's magnetic field made of photons? What component of Alfvén waves comes from the photons? Why can auroral electrons carry closed currents when their speeds are much faster than the Alfvén speed? How can the Jupiter's moon Io carry currents near its body? These examples will be explained in the talk.

マックスウェル方程式の解は、電磁波として伝搬する成分とそれ以外の成分にわけることができる。クーロン場やダイポール磁場は後者の例である。この後者については用語等の混乱がみられるが、ここでは near-field と呼ぼう。この near-field については種々の誤解が散見される。たとえば、クーロン場による荷電粒子の相互作用を「仮想光子の交換」などと表現することがあるが、この相互作用は光子（伝搬成分）によるものではなく、near-field によるものである。プラズマ波動に関しても、near-field の部分をどのようにあつかうかはあまり意識されていないように思われる。

数学的には near-field は非同次線形方程式の特殊解のうち、波動分散関係をみたさない、いわゆる off shell の解に対応する。場がダイポール磁場のように時間変化しない場合はこれは簡単に伝搬成分と分離できるが、時間変化する場合にどう分離するか、というのが本講演の主眼である。通常、マックスウェル方程式を解く場合は、フーリエ・ラプラス変換して、方程式を代数方程式に落としこんで分散関係を得るが、この解をラプラス逆変換して時間の関数にもどすときに、留数定理を使って分散関係の極を拾っている。この極から来る成分を非同次線形方程式の特殊解から除くことによって、near-field 成分を抽出することができる。

講演者は学生のころから「地球磁場は光子なのか？」という疑問をもってきたが、本講演の計算により、それは光子ではなく near-field であると納得することができた。同様に考えると、たとえばアルフベン波は光子か、という疑問にも答えることができる。また、アルフベン速度よりはるかに速いオーロラ粒子が準中性を保ちながら電流を運ぶメカニズムや、木星の衛星イオの運動による電流など、宇宙空間物理的な応用も広く考えられるであろう。講演ではこれらの例についても解説する。