

バイオイメージング技術の統一結像理論

Unified Image Formation Theory of Bioimaging Techniques

ニコン[○]福武 直樹

Nikon[○]Naoki Fukutake

E-mail: Naoki.Fukutake@nikon.com

バイオイメージング技術には、明視野顕微鏡などの古典的光学顕微鏡から、レーザーを用いた最先端技術まで様々な種類が存在する。結像の概念が確立された当初から、回折限界(古典的解像限界)により光学分解能が制限を受けることは知られていた。古典的光学顕微鏡は、最低次の相互作用($\chi^{(1)}$ 相互作用)を用いていることに相当しており、試料内の分子と励起光が相互作用して回折を起こし、このとき光学分解能は回折限界に従う。現在では、多種多様な相互作用を利用したバイオイメージング技術が開発され、その中には回折限界を破る超解像顕微鏡も存在する。

我々の結像理論は、解像限界を表現する 3-D aperture を定義し、全ての光学顕微鏡を俯瞰し同じ土俵で結像を扱うための理論的枠組みを提供した。これまで個別に扱われていた光学顕微鏡が一つの原理によって統合され、各相互作用が固有の解像限界をもつことを示した。具体的には以下のように理論構築した：①線形蛍光($\chi^{(3)}$ 相互作用)に代表される高次の相互作用には、回折という概念はそのままでは適用されないため、上位概念である疑似位相整合に置き換えた。②蛍光のようなインコヒーレント相互作用では、励起場の一つが真空場となるため、真空場を含む疑似位相整合を考えた。これらの概念は、古典的回折限界を包括し、あらゆる $\chi^{(i)}$ 相互作用(i :自然数)を取り扱うことができる。Fig.1 に、いくつかの相互作用を用いた共焦点顕微鏡の 3-D aperture を示す。本講演では、線形蛍光やさらに高次の相互作用である蛍光飽和等を用いたイメージング技術の解像限界を統一的に述べる。

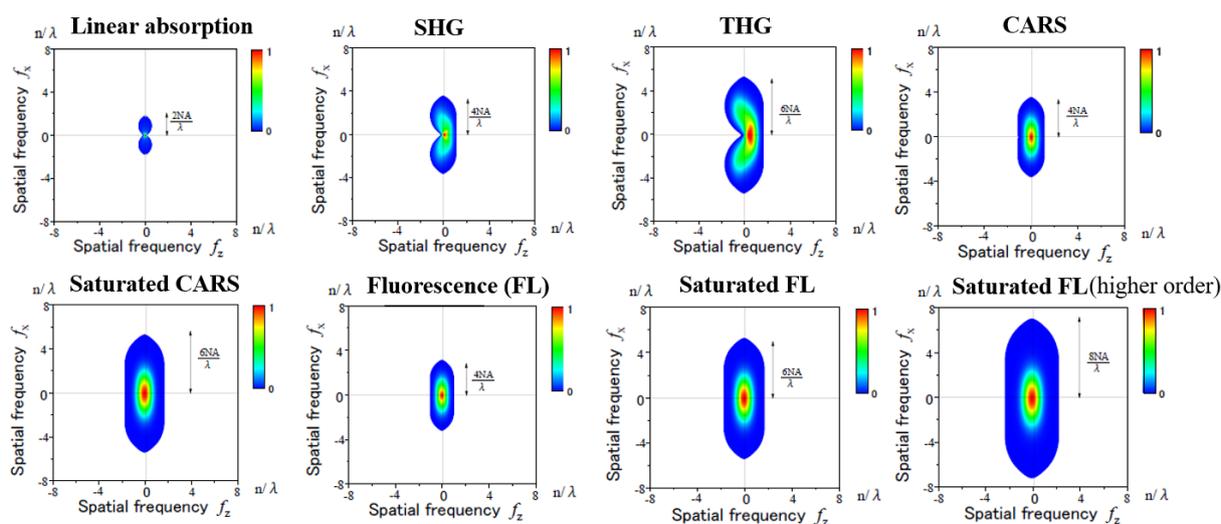


Fig. 1 3-D apertures of confocal microscopy. The scale bars to the right of each panel indicate the frequency cutoff. n is the average refractive index. λ is the wavelength of the excitation beam or the average wavelength if two excitation beams are used. The NAs of the excitation and signal-correction systems are 1.2 (water).

文献 N. Fukutake. Sci. Rep. **10**, 17644 (2020).