



微弱な近赤外光を可視光に変換する アップコンバージョンナノ粒子 —新しい近赤外光検出技術の開拓—

帝京科学大学 生命環境学部・JST さきがけ
石井あゆみ

1. はじめに

近赤外光は、780~2500 nm の領域の光で、人の目には「見えない光」である。この見えない光の性質は、赤外線カメラ（暗視カメラ）、赤外線通信（ワイヤレス通信）、光ファイバー、リモコンや生体認証など、幅広い分野で日常的に利用されている。光通信技術、医療診断や環境計測などの高度化が求められる現代では、近赤外領域における微弱な光の検出や高感度化は必要不可欠である。微弱な光の検出は、主に可視光領域付近において研究開発が活発に進められており、光電子増倍管やアバランシェ・フォトダイオード（半導体受光素子）、超伝導検出器（SSPD や超伝導転移端センサー）など、高電圧の印加（数100V 以上）や極低温（< 2K）での冷却により光子レベルの微弱な光の強度（光子数）の計測が可能となってきた。このような高い精度の光計測が、分光分析、天体観測、生体分析、環境計測から通信技術まで幅広い科学技術の発展を支えていることは言うまでもない。近赤外領域の光に対しても、高感度な検出を実現すべく、材料や素子の開発が進んでいる。その多くは、900~1700 nm に吸収帯を持つ化合物半導体 InGaAs（インジウムガリウムヒ素）を用いているが、既存の近赤外光検出素子は、バンドギャップが小さいことから、暗電流（ノイズ）による制約が大きいなど、Si などを用いた可視光検出の精度にまで至っていないのが現状である。つまり、近赤外光は、セキュリティや情報通信分野、生体イメージングなどでの応用が期待されているものの、光利用効率が可視光に比べて低いことが課題である。

再生可能エネルギーとして太陽光を利用する場合にも、近赤外領域の光に対するエネルギー利用効率の向上は重要な課題の一つである。例えば、太陽光は再生可能で豊富なエネルギー源であるが、その約4割は近赤外光である。一方、太陽光からエネルギーを生み出す人工光合成において、光触媒や太陽電池などを効率よく駆動させるために必要な太陽光は、晴天時における紫外～可視領域の限られた光であり、現状の人工光合成システムにおいて「使われていない」太陽光は非常に多い。

高感度に検出することが難しい近赤外光を、既存の技術や材料で高い精度の検出が可能な可視光に変換することができれば、微弱な近赤外光の利用価値を飛躍的に向上することができる。例えば、太陽光における近赤外領域の微弱な光を可視光に変換できれば、既存の太陽電池における理論限界を大幅に超える発電効率の実現が可能となる。また近赤外領域の光は、生体内での光散乱や自家蛍光による損失が紫外・可視光に比べて小さく、生体を透過しやすい。この生体透過性の高い近赤外光を可視光に変換することで、全く新しい生体イメージングやオプトジェネティクスなど、新規分野の開拓も見込まれる。「近赤外光を可視光に変換する」ことを可能とするのが、アップコンバージョン材料によるエネルギー変換である。本稿では、微弱な近赤外光を可視光に変換するアップコンバージョン材料の開発とそれを用いた新しい近赤外光検出技術について紹介する。

2. アップコンバージョンとは

2-1 アップコンバージョン材料とその機構

アップコンバージョンとは、2 つ以上の光子が連続して吸収されることで、励起波長よりも短波長