



非線形フォトニクス研究室

数理物質科学研究科 電子・物理工学専攻
理工学群 応用理工学類（応用物理主専攻）

服部・加納研究室

<http://www.bk.tsukuba.ac.jp/~thz/>

非線形フォトニクスとは

- 強いレーザー光を物質に照射すると、新しい波長の光を発生させたり、物質の新しい状態を作り出したりすることができます。そのような“非線形光学現象”を、さまざまに応用するための研究をしています。

研究テーマ

- 大出力テラヘルツ電磁パルスの発生とその応用
- テラヘルツ・イメージング
- 生体物質などのテラヘルツ分光

- 新しいレーザー光源を用いた新規分子イメージング手法の開発と生命科学・医学への応用
- キラル敏感な新しい非線形ラマン分光手法の開発

研究室概要

- **教授 服部 利明**
hattori@bk.tsukuba.ac.jp, 3F625
- **准教授 加納 英明**
hkano@bk.tsukuba.ac.jp, 3F607
- **学生**

博士課程後期	2名
博士課程前期(修士)	4名
卒業研究生	2名
ビジター	2名

(以上2012年度)
- **実験室** 3G216, 3G217, 3G411, 理科系D205
- **最近の卒業生の就職先**
富士通, アイレップ, シャープ, ブイ・テクノロジー, 旭化成,
ワンビシアーカイブズ, キヤノン, 東芝, JR東日本, リコー,
富士重工, 住友生命, 住友化学, パナソニック, オプティマ,
気象庁, 警視庁, NTT, DIC, ユーディナデバイス, 古河電工,
エプソン

非線形光学現象の例

- 和周波発生・差周波発生

$$\omega_1, \omega_2 \Rightarrow \omega_3 = \omega_1 + \omega_2$$

$$\omega_1, \omega_2 \Rightarrow \omega_4 = \omega_1 - \omega_2$$

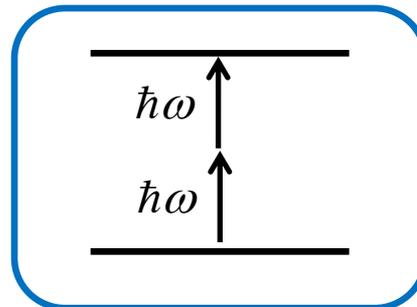
テラヘルツ波
発生

- 光混合

$$\omega_1, \omega_2, \omega_3 \Rightarrow \omega_4 = \omega_1 - \omega_2 + \omega_3$$

- 多光子吸収・多光子発光

コヒーレント・
ラマン散乱



テラヘルツ波とは

「電波」

エレクトロニクス



テラヘルツ・ギャップ



長波～ラジオ・テレビ電波～マイクロ波～ミリ波～

赤外/可視/紫外～X線～γ線

10^4

10^6

10^8

10^{10}

10^{12}

10^{14}

10^{16}

10^{18}

(Hz)

「電波」と「光」の間の未開拓領域の電磁波

電波



テラヘルツ波
0.03～12 THz



光

波長が長い。
エネルギーが低い。
回折が大きい。

波長が短い。
エネルギーが大きい。
直進性が強い。

テラヘルツ波の応用

- **イメージング**

安全検査，製品検査，医療診断

薬物，危険物，半導体，医薬品，

布，紙などを透過。水，金属などで吸収・反射。

エックス線に比べて安全。物質の特定が可能。

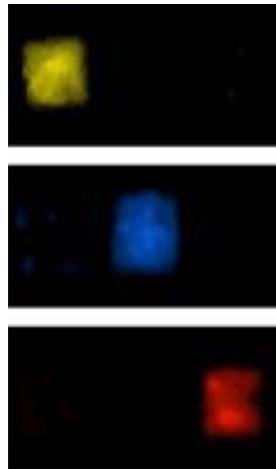
- **分光測定**

生体関連物質，半導体，宇宙，環境，

- **大容量通信**

テラヘルツ波のセキュリティへの応用

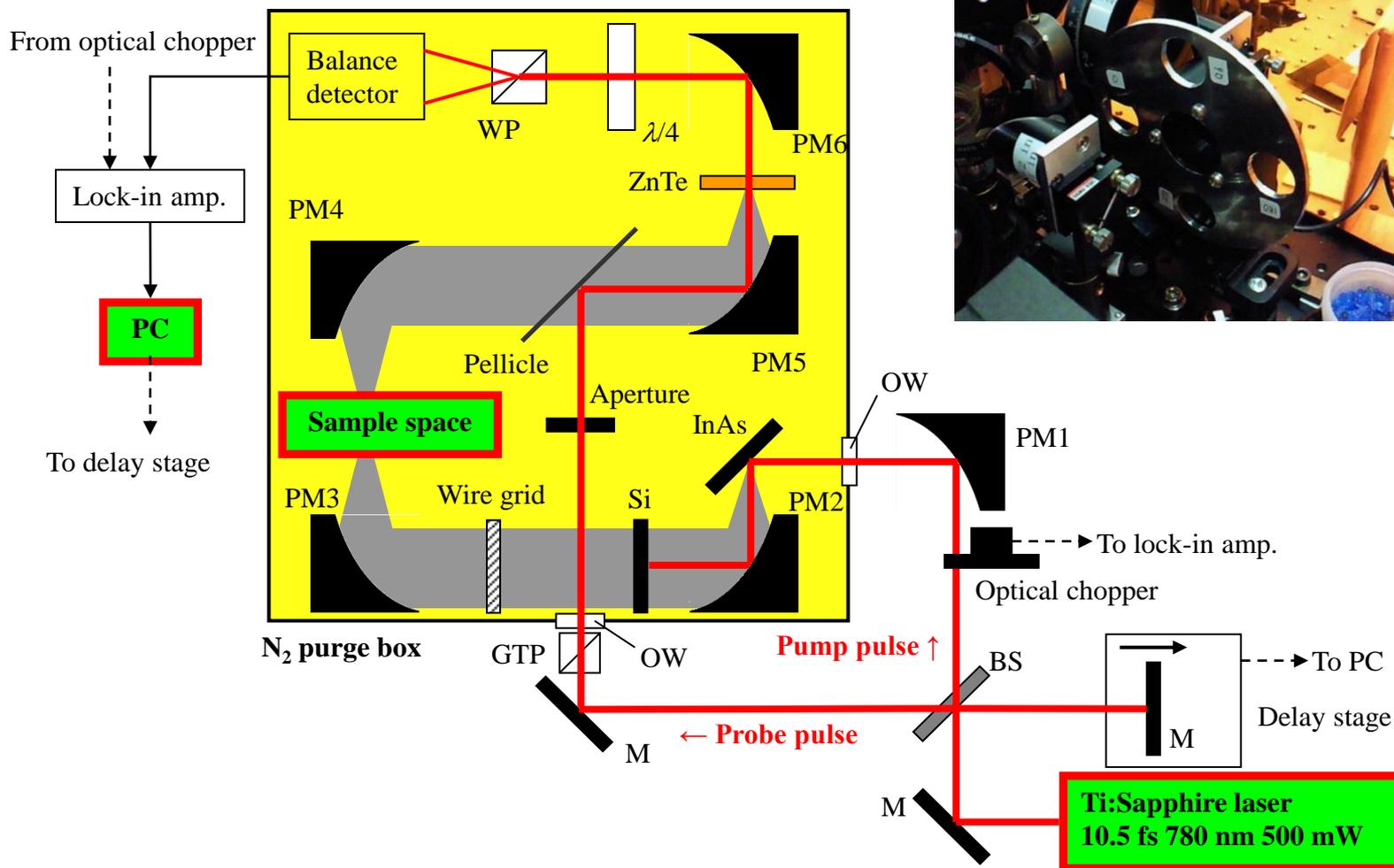
封筒内に隠された禁止
薬物のテラヘルツ分光
イメージング



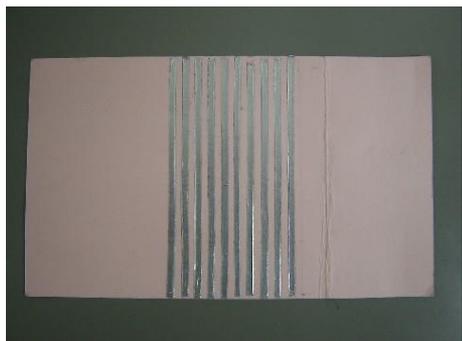
隠し持ったナイフのテ
ラヘルツイメージング



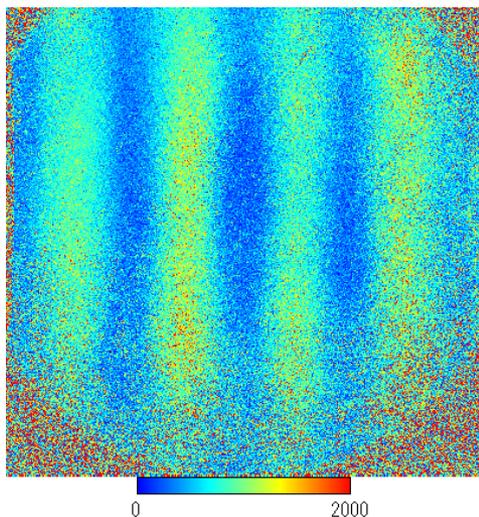
テラヘルツ分光装置



テラヘルツイメージング

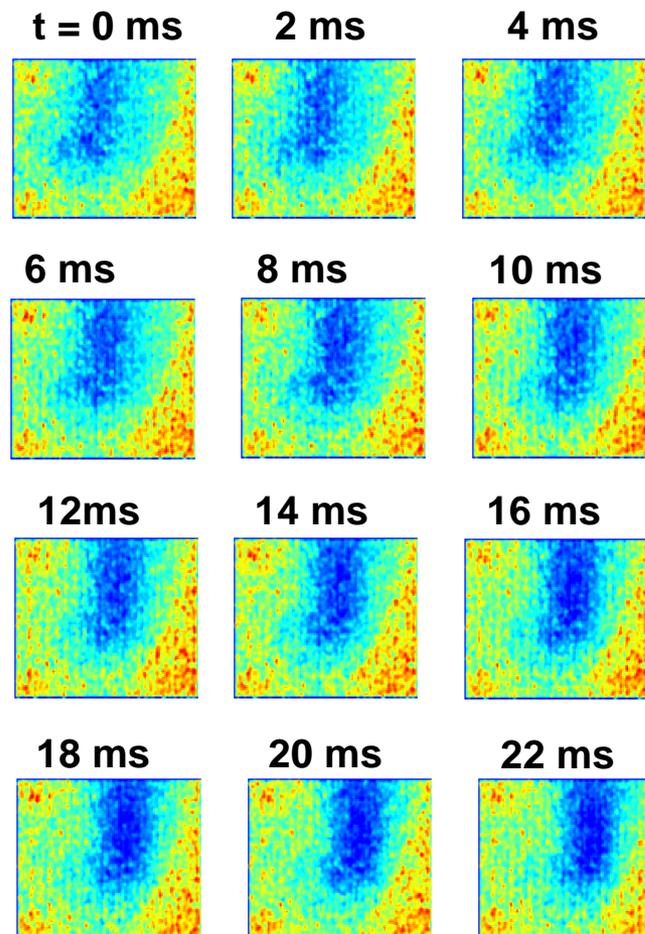


幅・間隔が2mmの金属配列



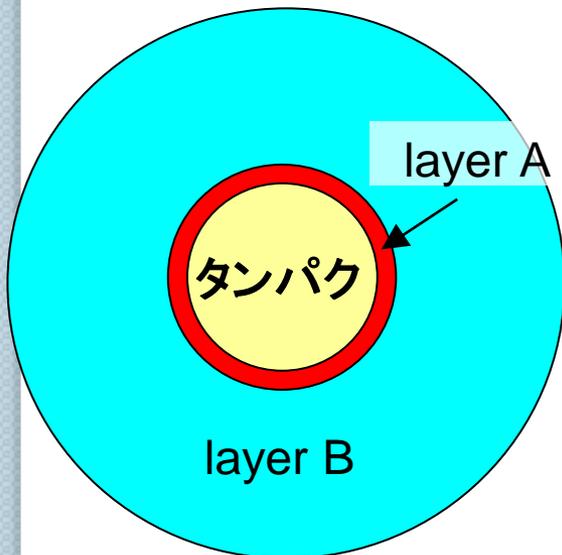
テラヘルツ波による画像

テラヘルツ高速ビデオ



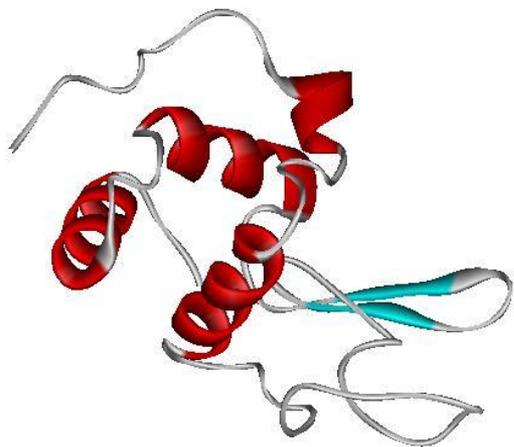
タンパク質の水和

- 溶質分子は、溶媒分子と静電力や水素結合などで相互作用し、安定化される。これを、溶媒和(水の場合は水和)という。
- 溶質分子の近傍の水分子は、純粋な水の分子とは異なる性質を持つ。
- 生体分子の機能は、水和水との協奏的作用によって発現する。



- テラヘルツ分光測定によって、水和水の動的性質を直接的に観測することができる。

タンパク質の水和



ニワトリ卵白リゾチーム (HEWL)

spacer (thickness: d)

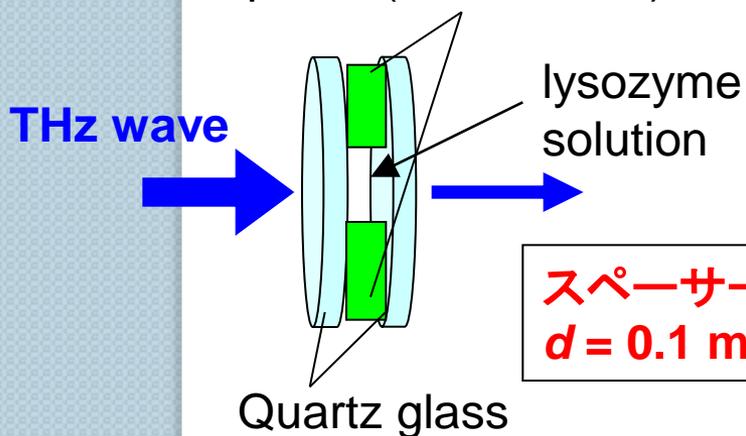
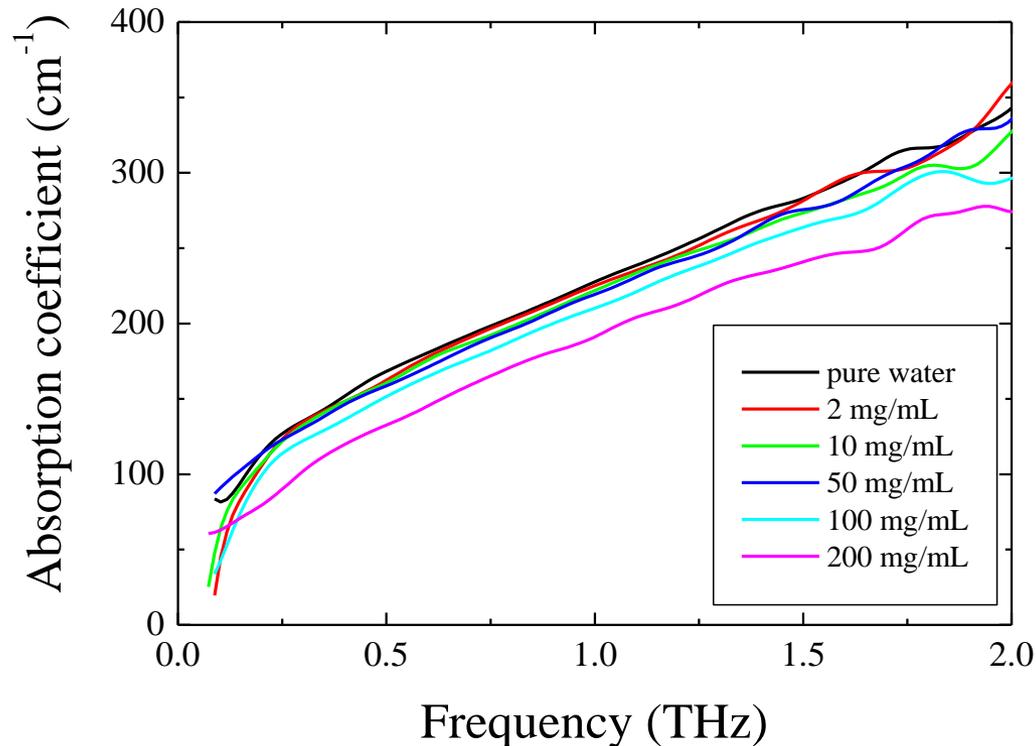


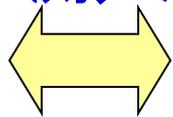
Fig. Sample setup



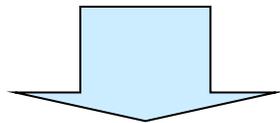
コヒーレント・ラマン散乱の 生命科学・医学応用

- 生体組織の計測・病変などの診断

- *in vivo, in situ* 計測（“ありのまま”を“その場で”計測）が望ましい

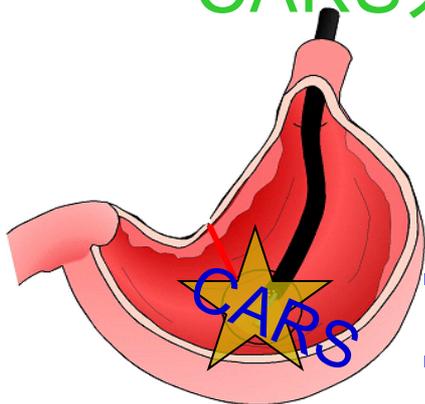


従来法：蛍光イメージング法は間接計測

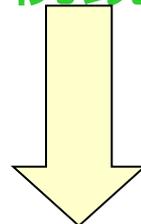


Mission: 生体計測・診断を容易に行える、
コヒーレント・ラマン分光システムの開発

カース
CARS分光内視鏡



分子レベルで画像化
分光によるマルチカラー



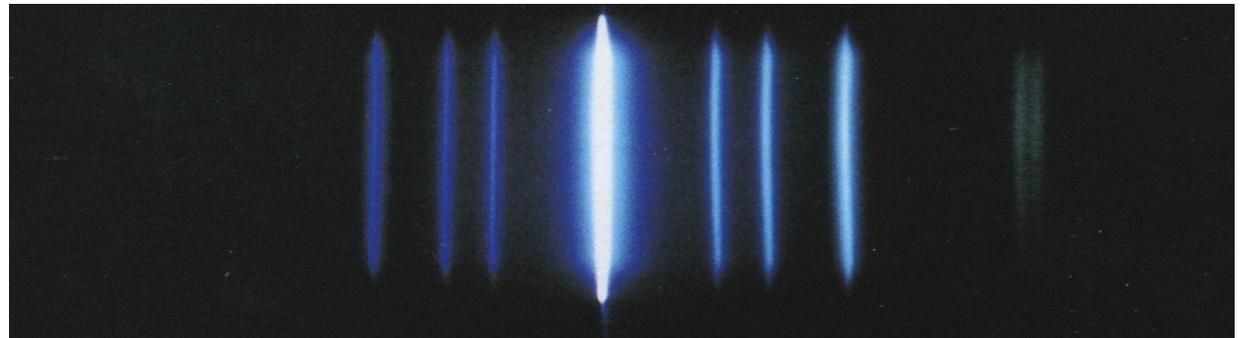
- ・生命現象の解明を *in vivo, in situ* で行う
- ・臨床診断への応用

ラマン散乱

- ラマン散乱とは
 - 分子による光の非弾性散乱
 - 1928年の発見からわずか2年後に1930年ノーベル物理学賞受賞
 - "for his work on the scattering of light and for the discovery of the effect **named after him**"

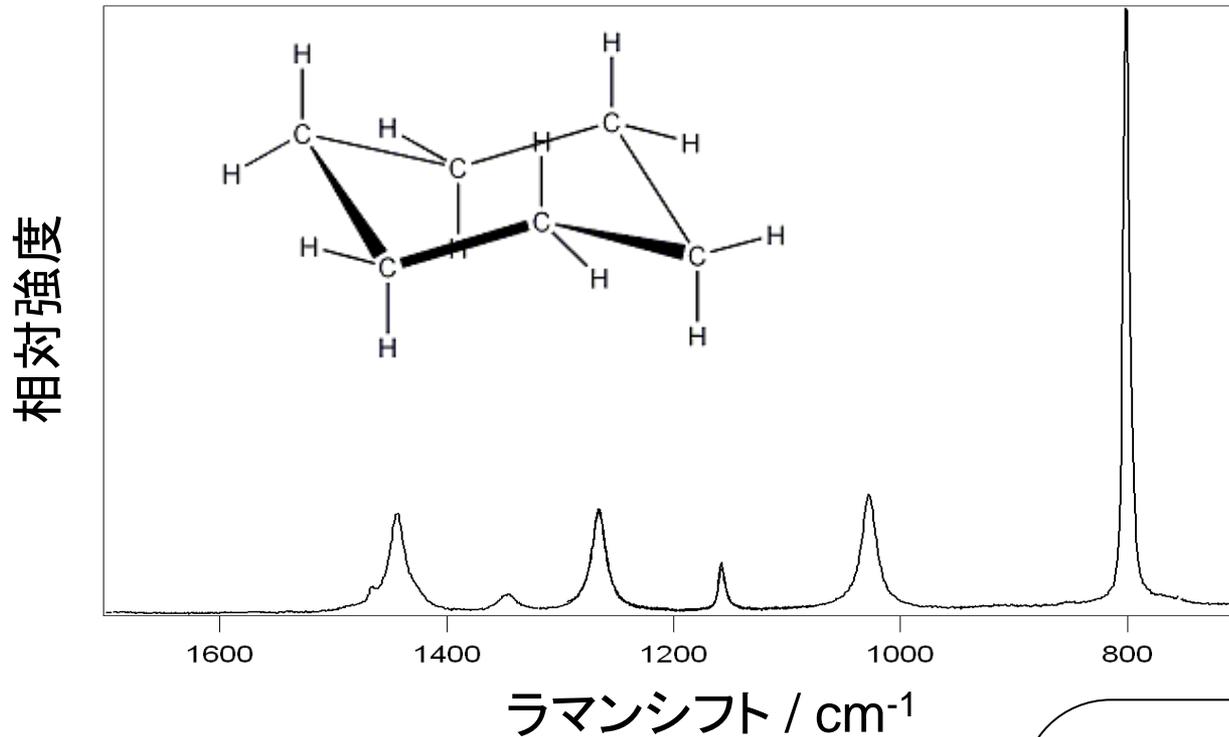


Sir Venkata Raman



アルゴンイオンレーザー488nm(青色)で励起した
液体四塩化炭素のラマンスペクトル

ラマンスペクトルは“分子の指紋”



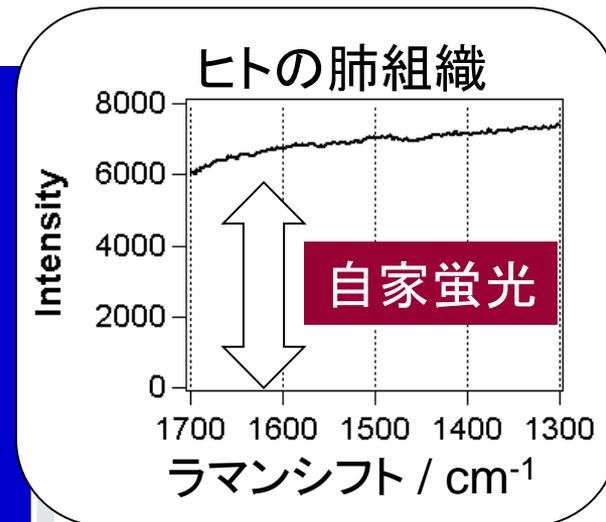
通常のラマン散乱の欠点

・信号が微弱

通常の散乱(レイリー散乱)の1/10000

・蛍光のバックグラウンドに埋もれる

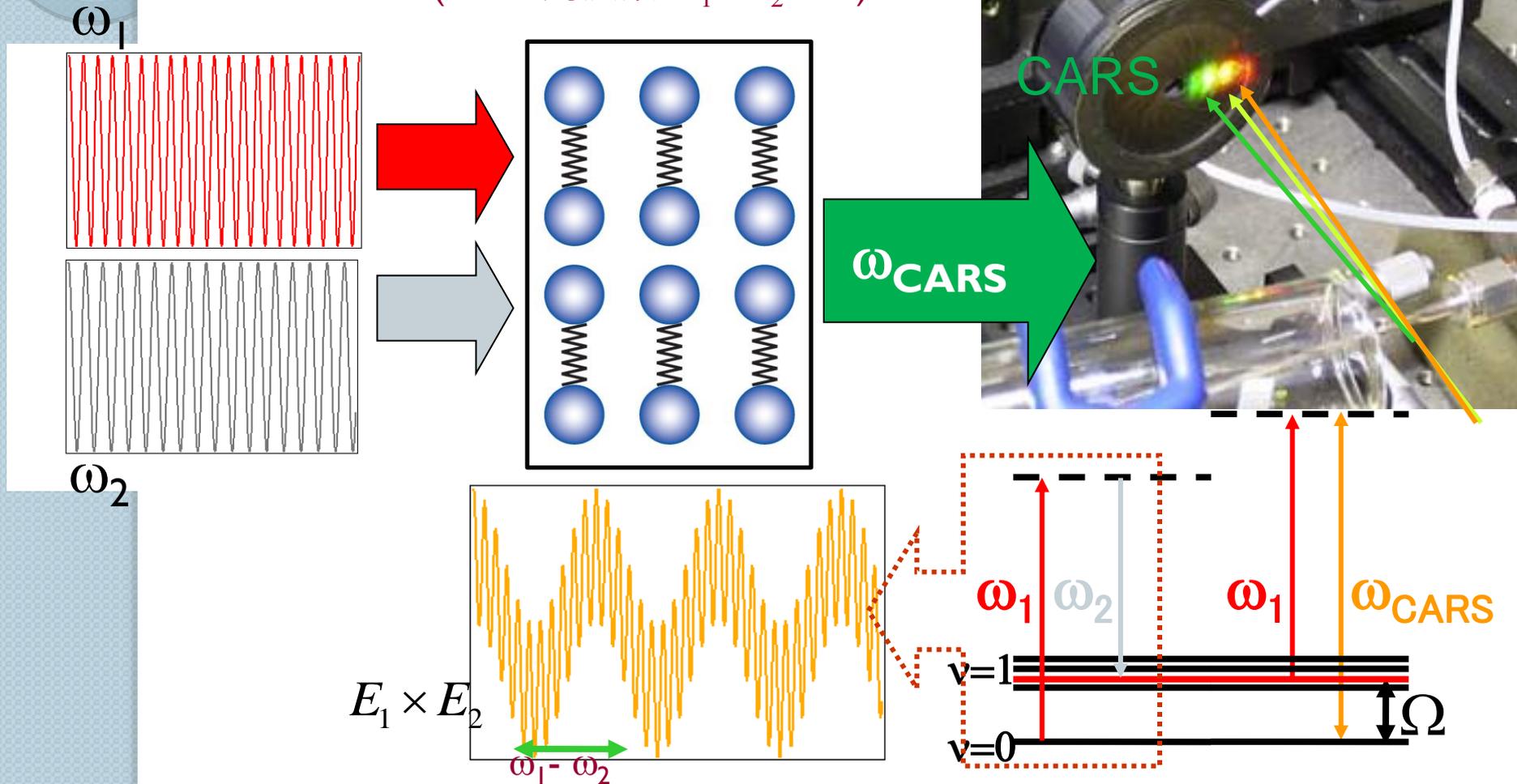
生体組織の場合、自家蛍光が特に問題に



コヒーレントラマン散乱 (CARS) とは

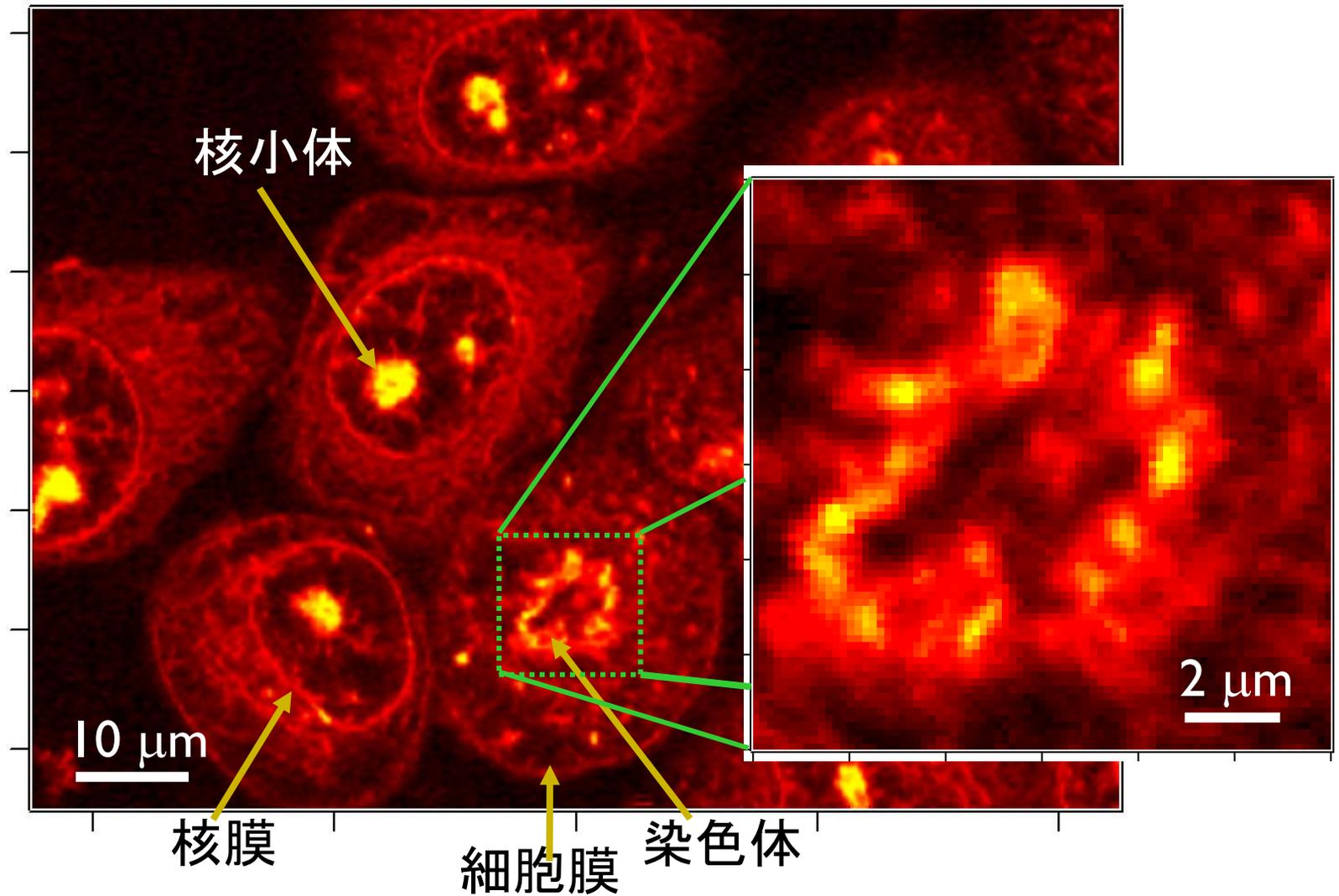
- Coherent Anti-Stokes Raman Scattering (CARS)

分子振動をコヒーレントに励振
(ビート周波数: $\omega_1 - \omega_2 = \Omega$)



CARSによる分子イメージング

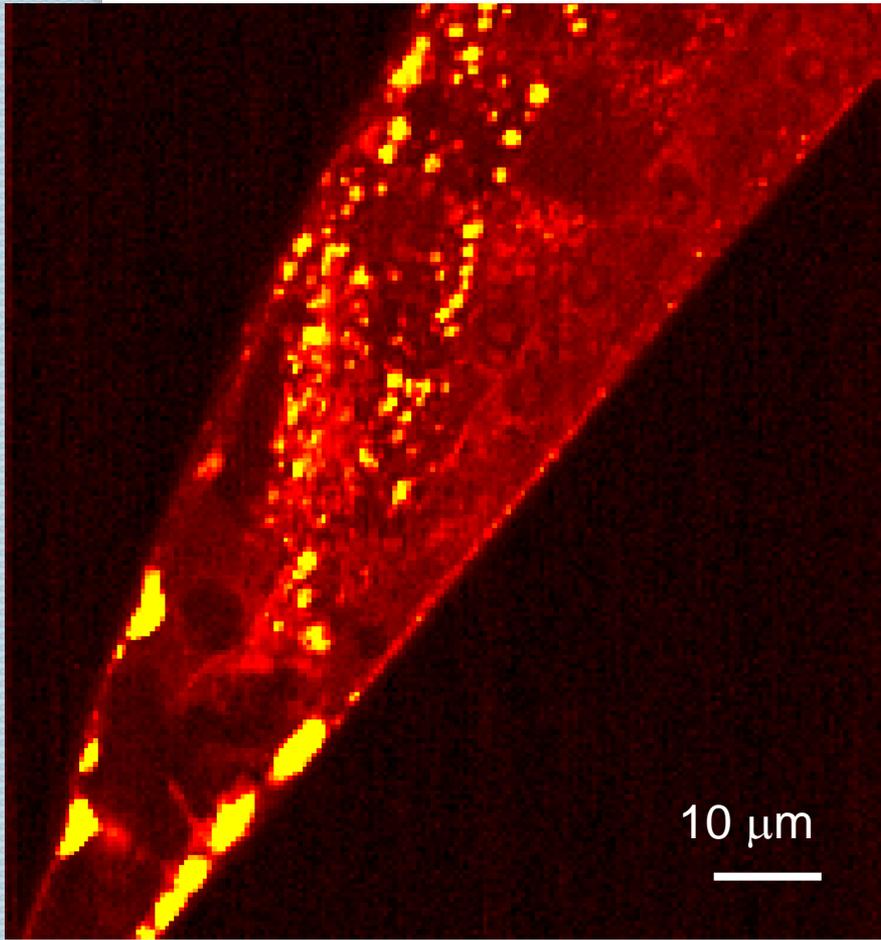
- HeLa細胞@CH伸縮振動（非染色で可視化）



CARSによる分子イメージング

- 線虫

試料: *Caenorhabditis elegans*

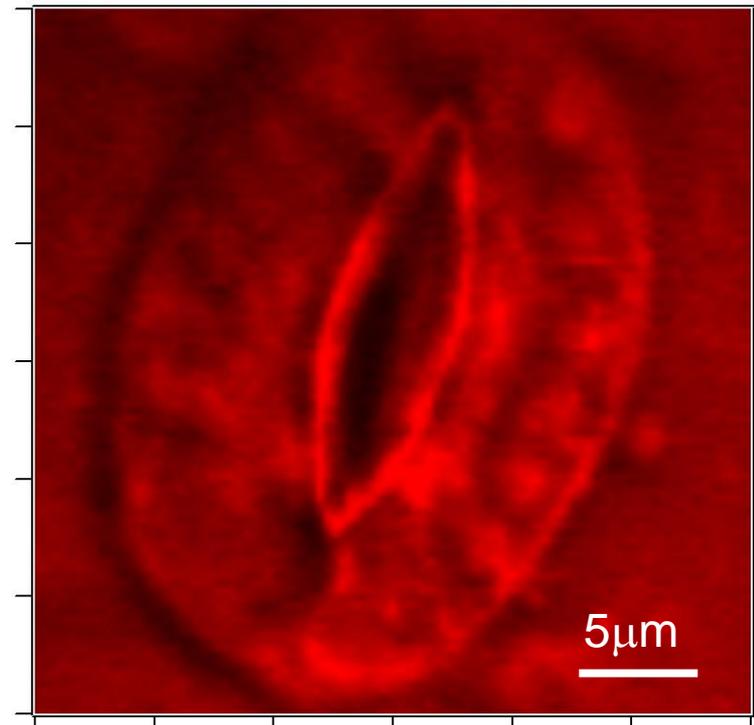


- 孔辺細胞

試料: *Mirabilis jalapa*



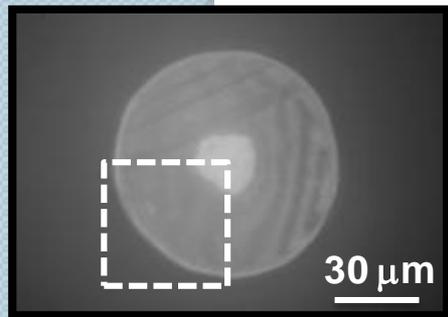
孔辺細胞のCARSイメージ(CH伸縮)



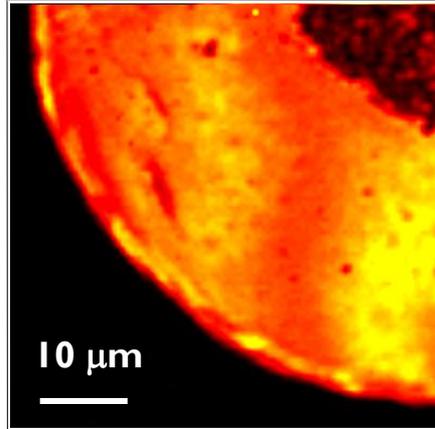
CARSによる分子イメージング

● 毛髪

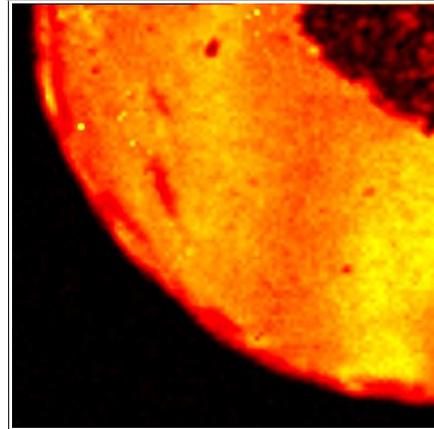
毛髪切片の光学像



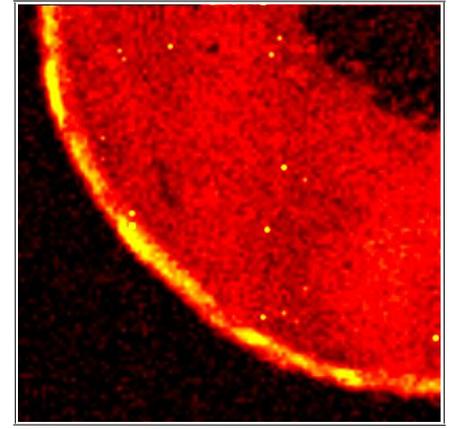
(a) Amide I



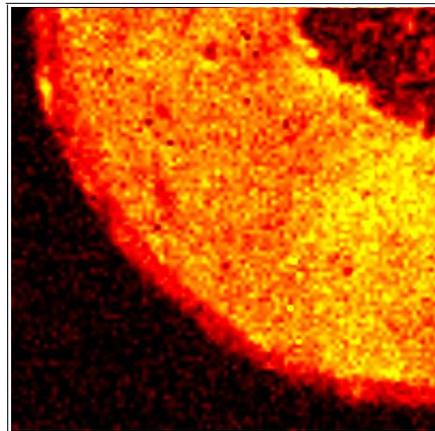
(b) CH bend



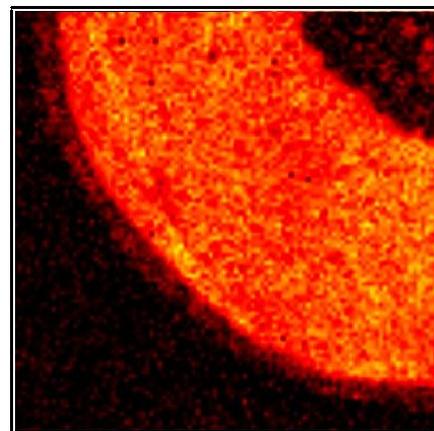
(c) Amide III*



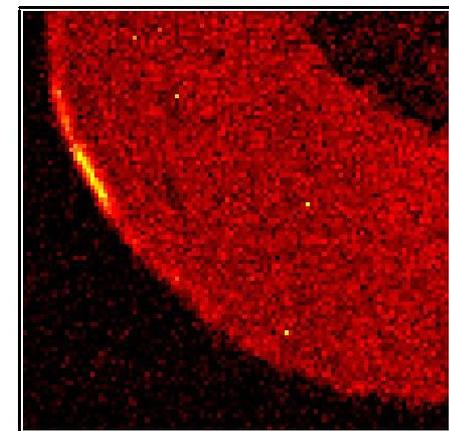
(d) Phe



(e) C α -H & C α -C



(f) S-O



Amide III*: C-N str. & in-plane NH bend.
 α ヘリックスでは弱い(コルテクスは α ヘリックス、
キューティクルは不規則構造)

C α -X
 α ヘリックスの骨格由来

K. Bito, et. al., *J. Phys. Chem. B*, 116, 1452 (2012)