

分子構造研究系 岡本グループ  
ナノ構造体の励起ダイナミクスの時空間分解観測

体験入学課題

## ナノの金属ロッドを作って波動関数を見る

概要：

純金結晶でできたナノロッド（太さ20-40nm，長さ数百nm）を作成し（水溶液中での合成），それを精製して，極めて高い空間分解能をもつ光学顕微鏡である近接場光学顕微鏡で観察する。金属中の自由電子の励起状態である，プラズモンの波動関数が見えることを体験する。

金属のナノ微粒子は，通常の固体の金属とは全く異なる光学的性質を示し，その性質をナノサイエンス・テクノロジーの新しい材料に生かそうという研究が進められている。ナノの世界で特徴的な性質を示す原因は，金属中の沢山の自由電子が集団として振動する運動（プラズモン）が元になっている。本課題は，そのプラズモンの波動を光学顕微鏡で直接見てしまおうというものである。

ところが普通のレンズを使った光学顕微鏡では，分解能が悪くて，ナノの世界は見えない。近接場光学顕微鏡と言う，新しいタイプの顕微鏡を使うことで，ナノの世界を光で見ることができる。この課題でも，近接場光学顕微鏡を使って，ナノの微粒子の波動関数を観察する。

# 光の波長と分解能

普通の顕微鏡でナノは見えない



光学顕微鏡

波長程度の大きさ

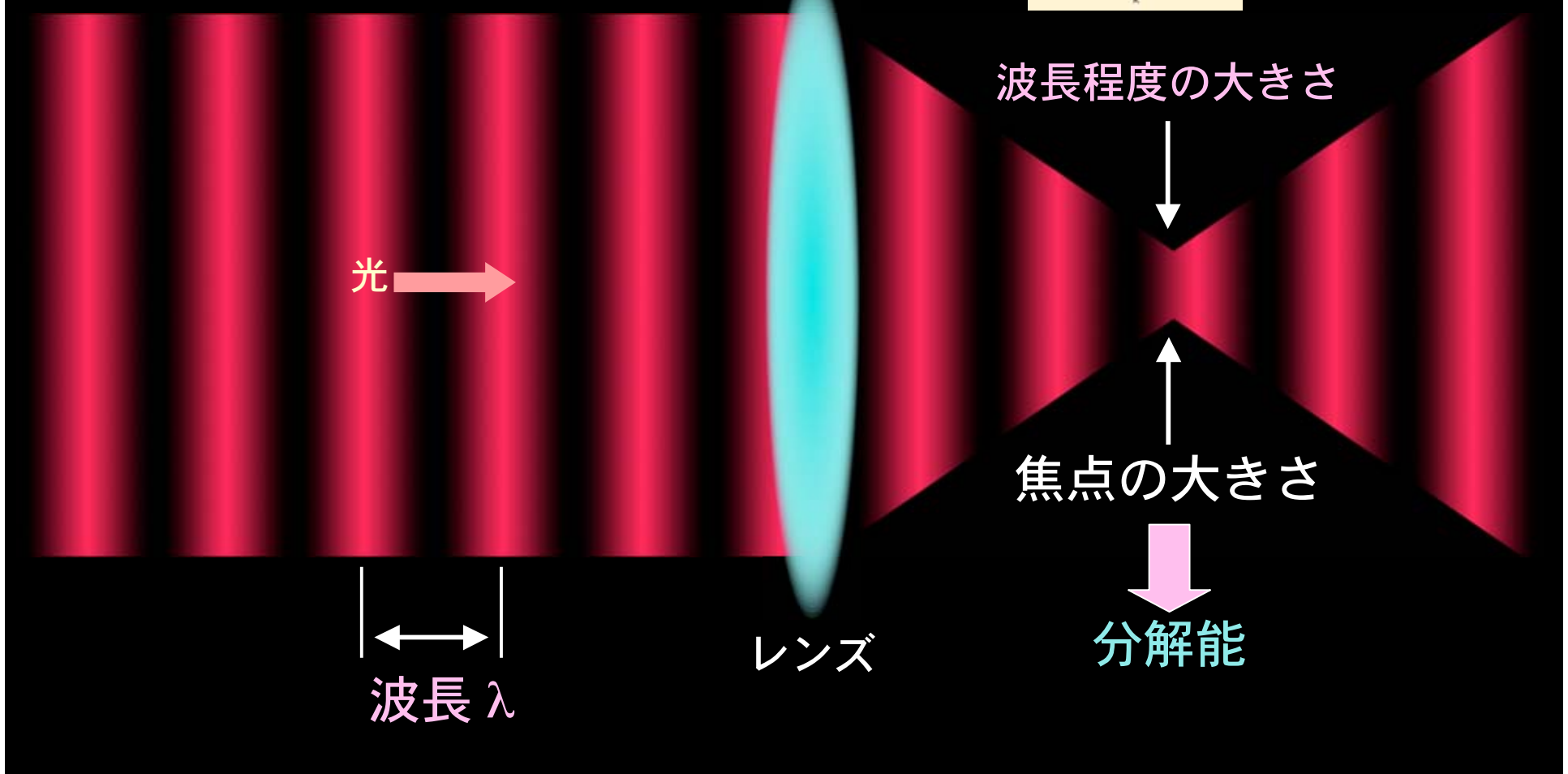
光 →

焦点の大きさ

レンズ

分解能

波長  $\lambda$



金属スクリーンに小孔を開け，光を通す



孔径  $\gg$  波長

直進



孔径  $>$  波長

広がる



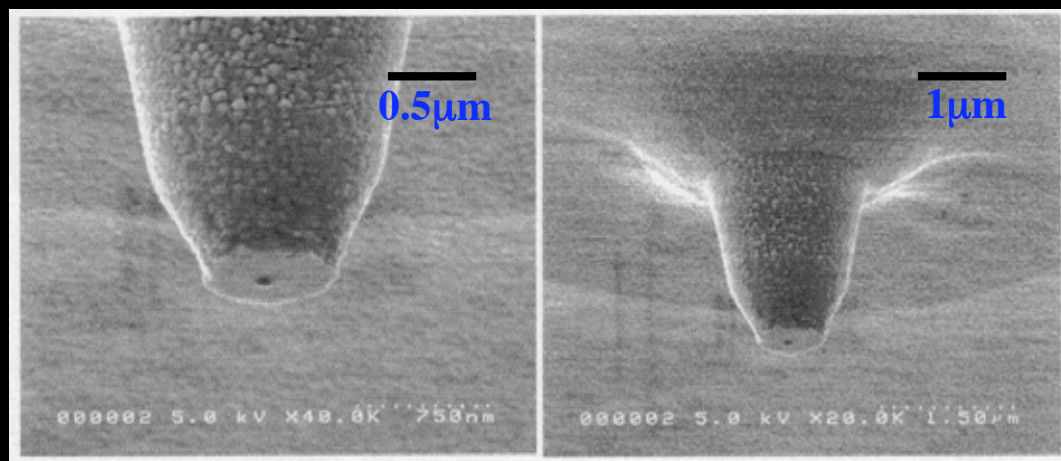
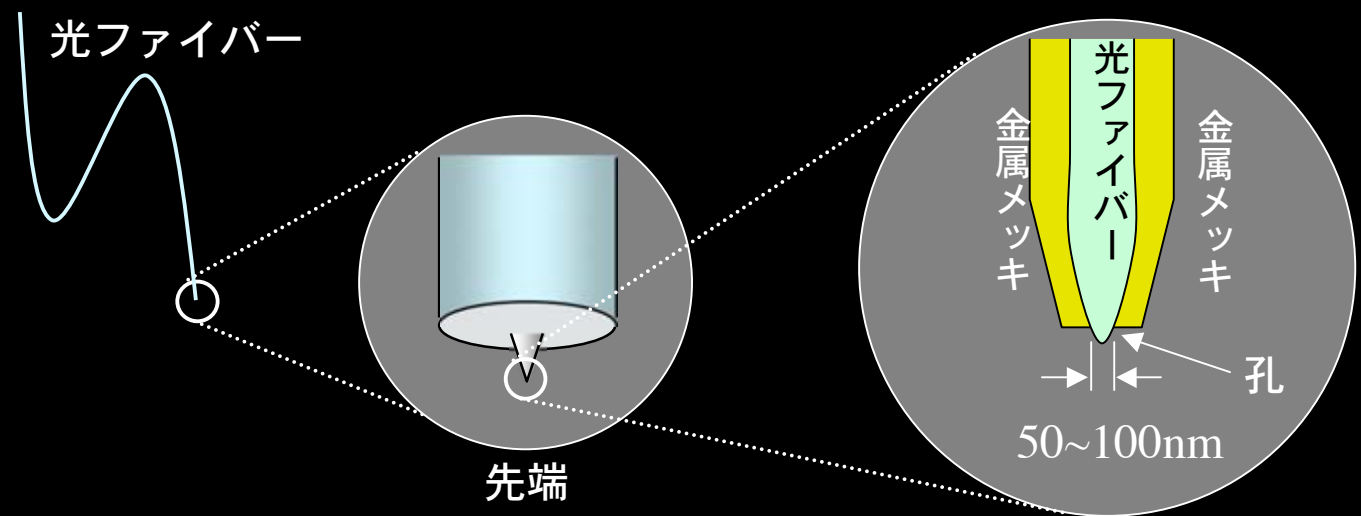
孔径  $<$  波長

孔の付近のみ照射される

通過できない

近接場

# 光ファイバーの先端に作る近接場プローブ



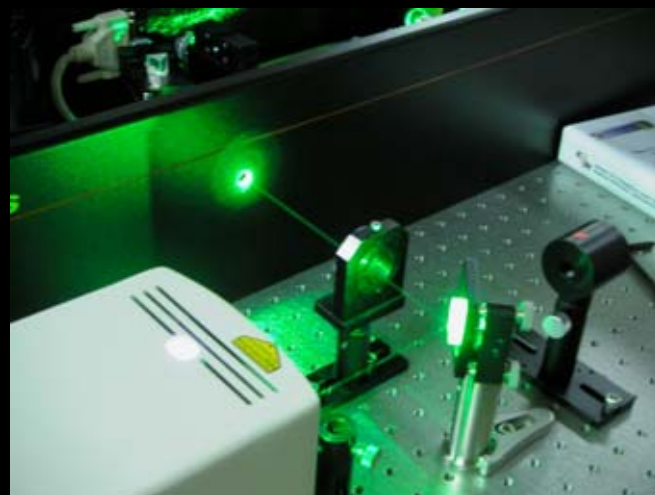
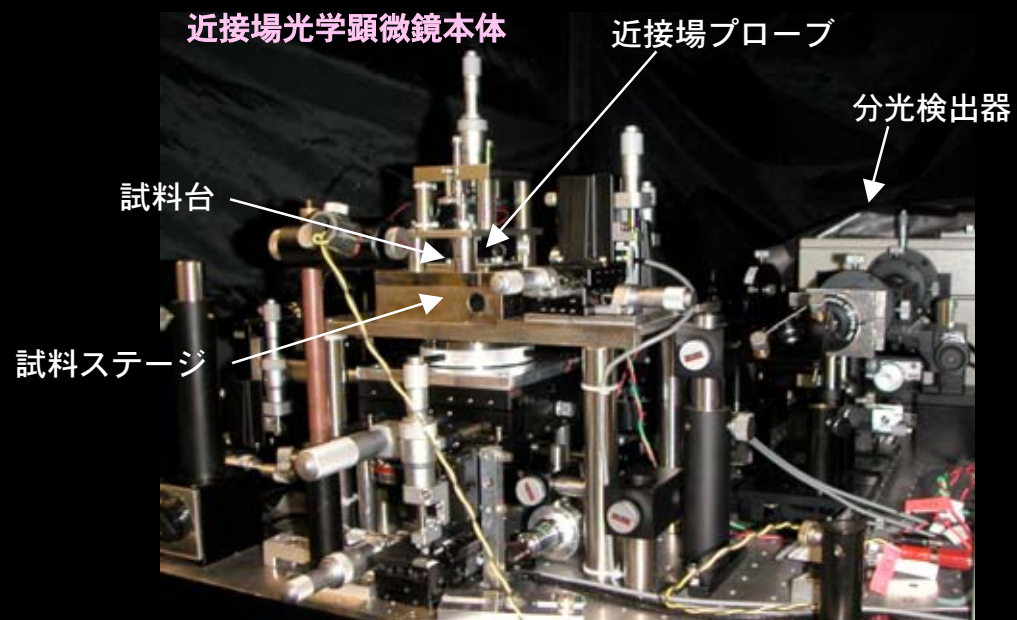
更に先端  
(断面)

孔からしみ出す光（大きさは孔の直径程度）を使って顕微鏡を作る



ナノの分解能

# 近接場光学顕微鏡の実験室風景



# 近接場光学顕微鏡の特徴

ナノメートルの分解能

かつ

カラー撮影が可能

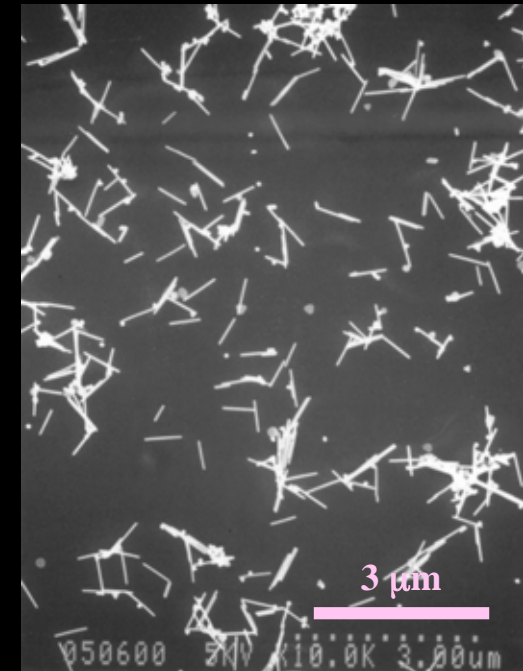
二光子顕微鏡の特徴を利用できる

非常に高速で起きる現象を追跡できる

# 金のナノ微粒子の観察



## 金ナノロッドの電子顕微鏡写真



## 古来ガラスの赤色着色料として使われてきた

薩摩切子



[www.shimadzuya.jp/kiriko/](http://www.shimadzuya.jp/kiriko/)

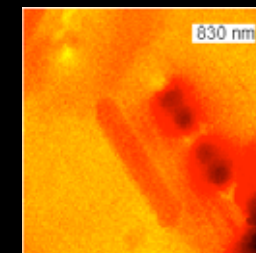
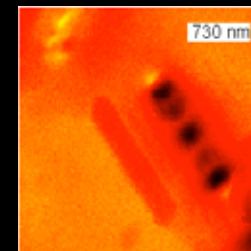
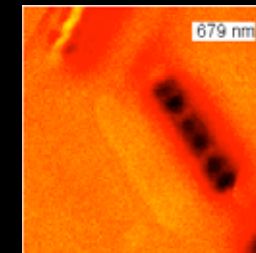
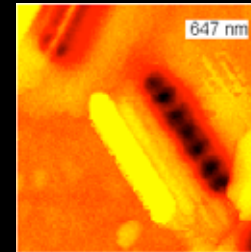
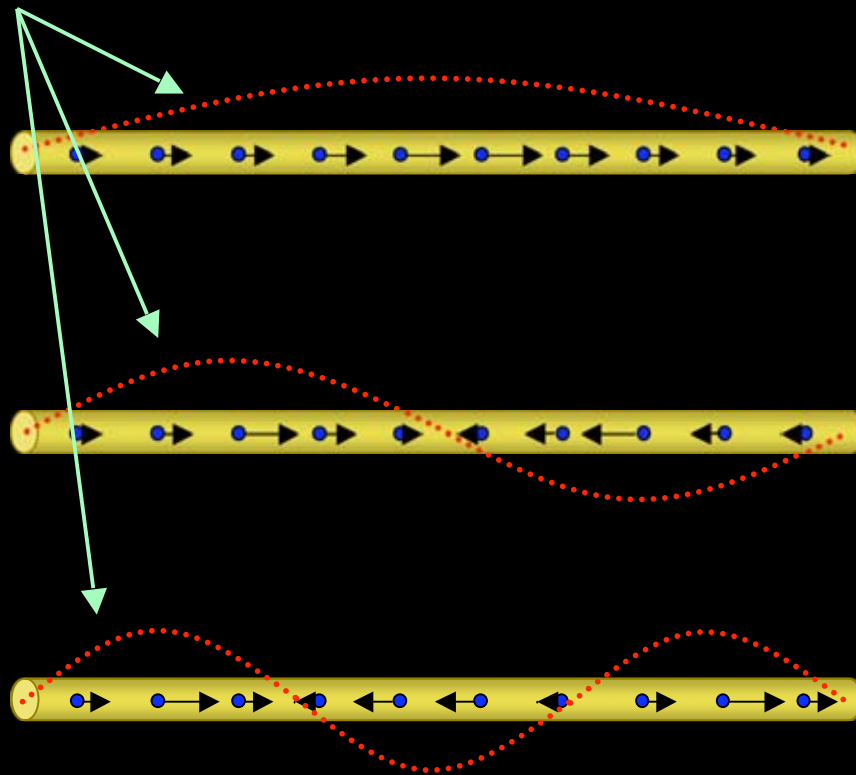
ステンドグラス



[blog.livedoor.jp/fu\\_ga907/](http://blog.livedoor.jp/fu_ga907/)

# 金属の中の電子の振動（プラズモン）と波動関数、 ナノロッドの近接場イメージ

波動関数



Imura et al., *Opt. Lett.* **31**, 1474 (2006)



体験内容：

## 1 日目

### 1. 純金のナノロッドの試料を作成する。

- ・塩化金酸の水溶液を還元すると金の球状微粒子（直径数nm）のコロイド水溶液ができる。
- ・それを核として、界面活性剤を含んだ塩化金酸溶液で、金の結晶を成長させる。
- ・大きな球状微粒子，ロッド状の微粒子，板状の微粒子などを含んだコロイド水溶液ができる。

## 2 日目

### 2. 金のナノロッドの試料を精製し，測定試料を作成する。

- ・コロイド溶液を遠心分離にかけ，金属微粒子から界面活性剤を取り除く。
- ・沈殿した金属微粒子を再び水に分散し，コロイド溶液にする。
- ・コロイド溶液のスピンコート法によって，ガラス基板上に均一に微粒子をばらまいた測定試料を作成する。

### 3. 測定試料を近接場光学顕微鏡で観察する。

- ・近接場光学顕微鏡に試料をセットし，測定準備を行う。
- ・測定試料の表面形態像を測定し，適切なナノロッドを探す。
- ・ナノロッドの近接場透過イメージを測定する。
- ・プラズモンの波動関数のイメージが得られる。
- ・波長によってイメージが異なることを観察し，得られたイメージの起源について考察する。