

**物理系博士として  
企業でどのように能力を  
発揮してきたか**

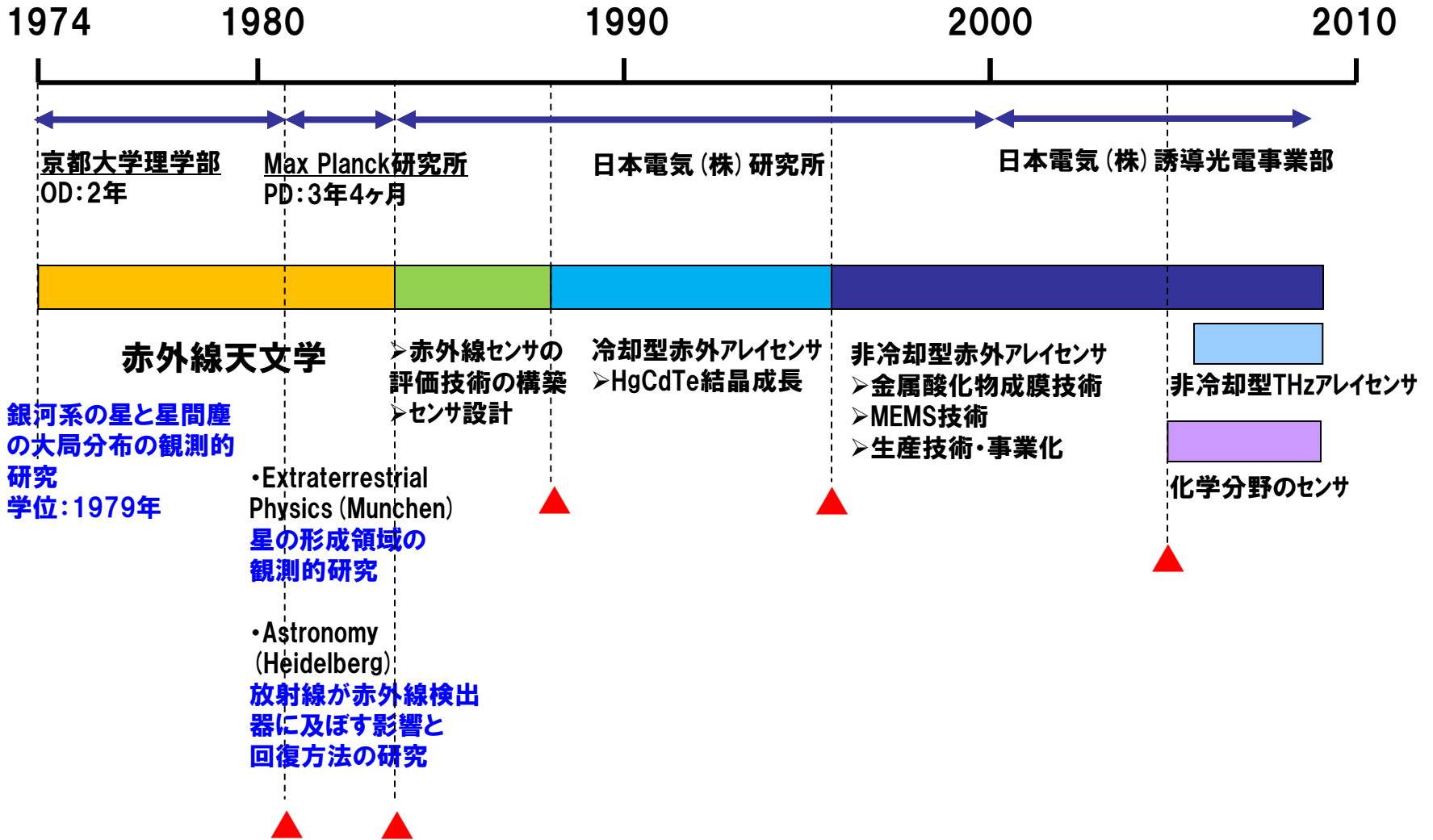
**東京大学理学部4号館にて**

**2009年6月13日**

**NEC誘導光電事業部**

**小田直樹**

# 研究開発項目の推移



# 修士課程・博士課程の研究テーマ

【京都大学理学部物理学第二教室(1974-1980年)】

➤ 銀河系の星と星間塵の大局分布の観測的研究

赤外線の高い透過性 ⇒ 銀河中心まで見える。

大きい大気吸収 ⇒ 成層圏気球搭載の赤外線望遠鏡

当時の日本の実力: 積載量に限界あり

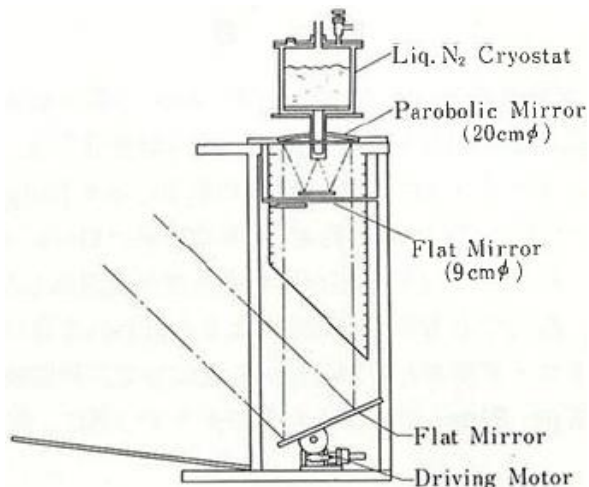
> 小さな望遠鏡 ⇒ 大きな視野 ⇒ 大局分布に最適

⇒ 1979年 学位取得 「銀河遠赤外線の気球観測」

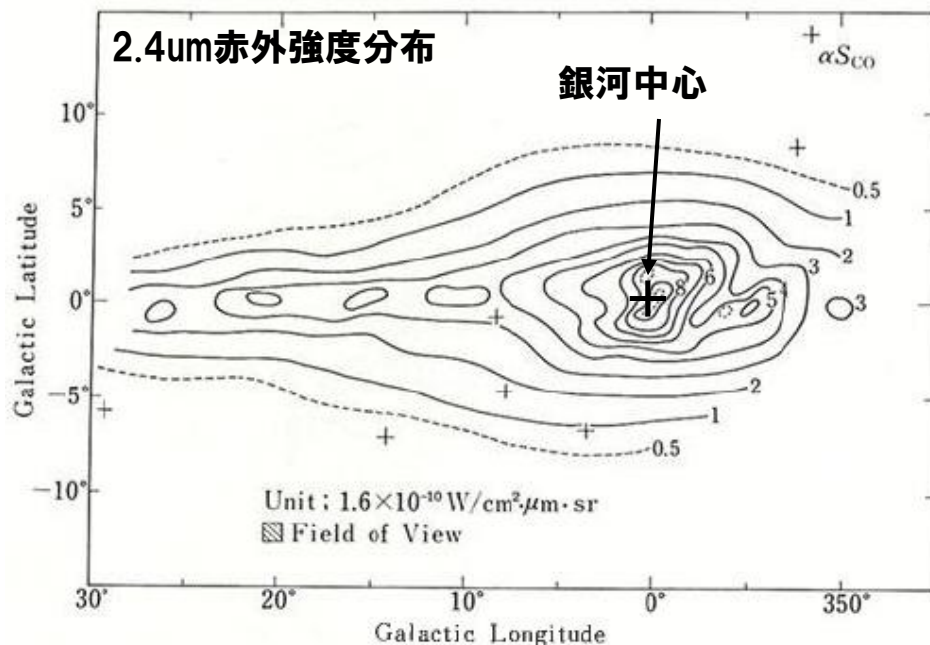
# 京都大学時代の研究内容

## 成層圏気球望遠鏡の開発と我銀河系の赤外線観測

波長2.4 $\mu\text{m}$ での銀河系の観測 (星の分布)



約20cmの望遠鏡



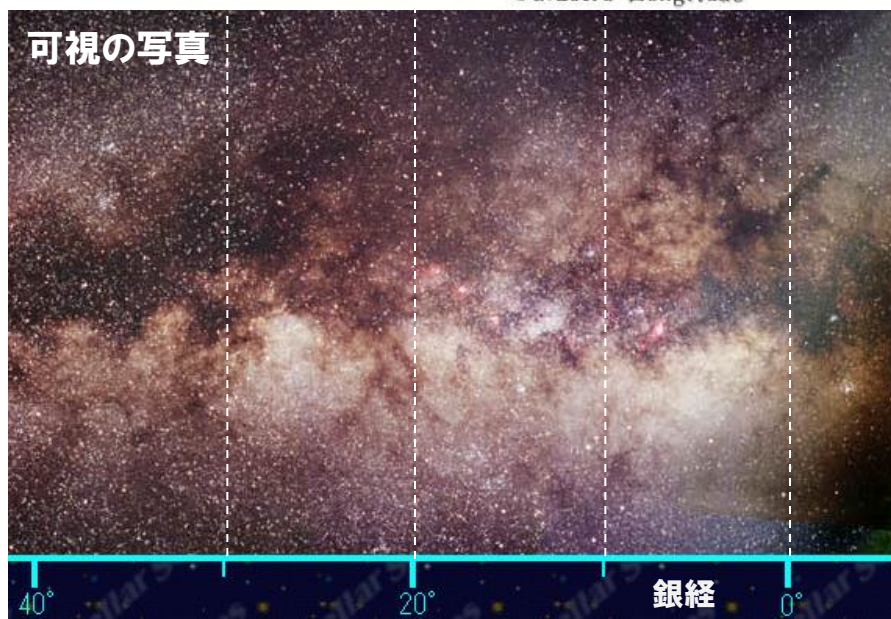
可視光では星間塵による大きな減光のため太陽近傍しか見えない。

2.4 $\mu\text{m}$ では減光が極端に小さくなる為、我銀河系の中心まで見える。

遠赤外では星間塵からの熱放射が観測される。

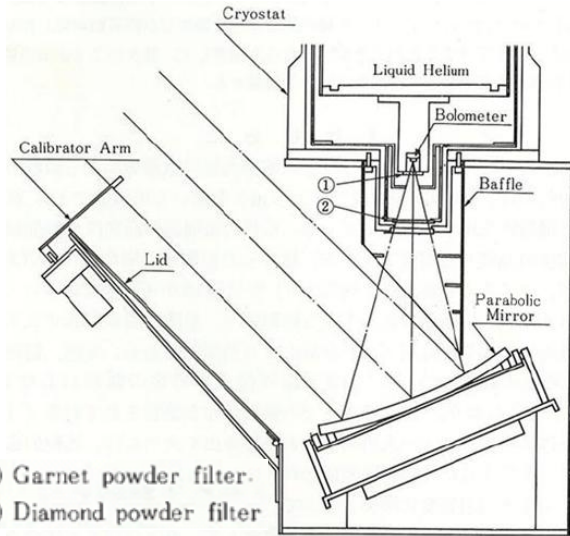


銀河系の星の光の大局分布  
銀河系の星間塵の大局分布



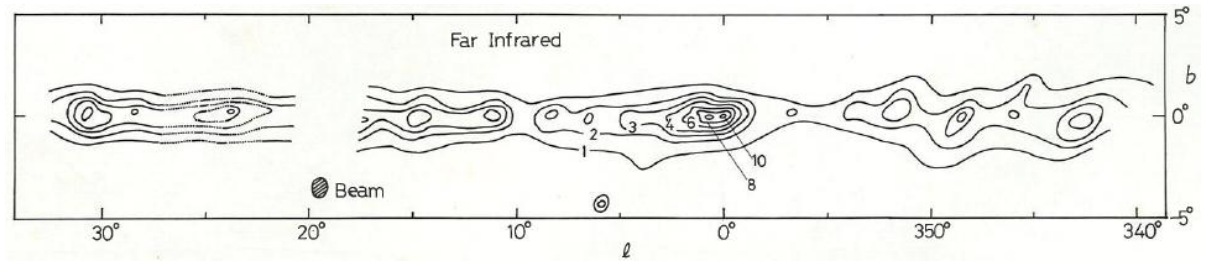
# 京都大学時代の研究内容

## 成層圏気球望遠鏡の開発と我銀河系の赤外線観測

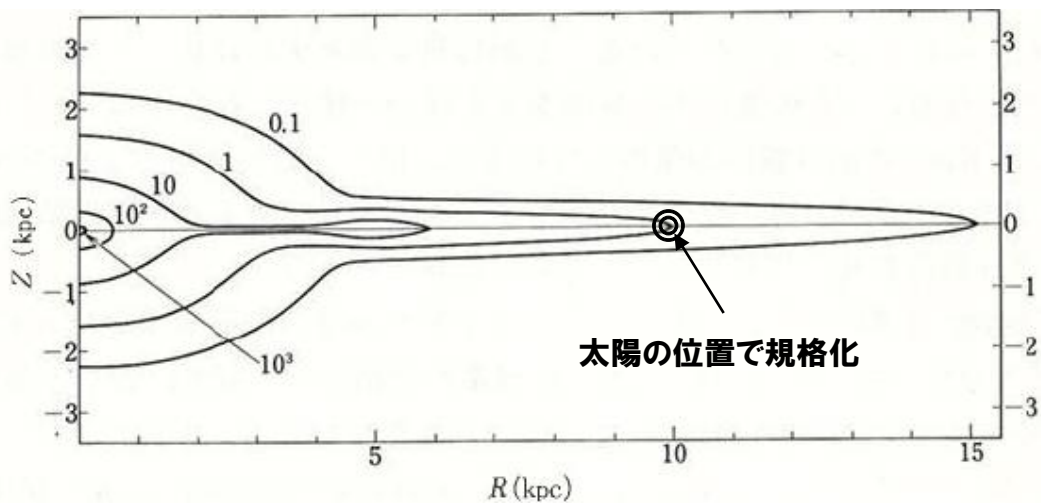


### 銀河系の遠赤外観測 (星間塵の分布)

#### 波長約150um (2THz) の強度分布



### 銀河系の星の光の分布 (体積輻射率)



# ポストドクになった(ならざるを得なかった)経緯

【京都大学理学部物理学第二教室(1974-1980年)】

➤ 前述のテーマ以外に星の形成領域の観測的研究に興味を持っていた。

➤ 遠赤外(今流行のTHz)

➤ 分光観測

⇒ ところがこの種の観測は、細かい視野、大きな望遠鏡が必要。

日本では当時不可能であった。

➤ 日本のある大学の助手の公募に落選

「何とかしなければ」と悩んでいた時にMax Planck研究所の赤外天文学のリーダー(ミュンヒエンとハイデルベルグ各部門)2人が京大を訪問。

⇒ 小生の興味とMax Planck研究所ミュンヒエンの部門の研究テーマが一致。

「星の形成領域の遠赤外分光観測」

1981年1月からポストドクとして1年契約でミュンヒエンへ。Max Planck研究所から給料を貰うようになる。

**【Max Planck研究所Extraterrestrische Physik (Garching bei Munchen):1981-1982年】**

**➤1年目:Palestine/Texas/USAのNASA Balloon Baseでの実験**

**米国の気球に微小な穴があり成層圏まで上がらず失敗。**

**⇒ Max Planck研究所のDirectorに契約更新をお願い。承認された。**

**➤2年目:再びPalestine/Texasで実験。今度はデータが取れた。Gott Sei Dank !**

**➤3年目:違うところに行かねばならない。**

**米国や欧州の複数の研究所に採用願いのレターを出す。**

**⇒ Max Planck研究所Astronomie部門 (Heidelberg) に1年契約で採用決定。**

**「赤外線検出器への放射線の影響と回復に関する実験的研究」**

# ポストドク時代の研究内容

Max Planck Institut fur Extraterrestrische Physik

ポストドク: 1981年1月～1982年12月

テーマ: 星の形成領域の遠赤外観測 (成層圏気球望遠鏡 + フーリエ分光)

ミュンヘンからテキサスへ、望遠鏡、送信・受信・データ解析装置を運搬



Launcher  
(Tiny Tim)

成層圏気球

赤外線  
天体望遠鏡

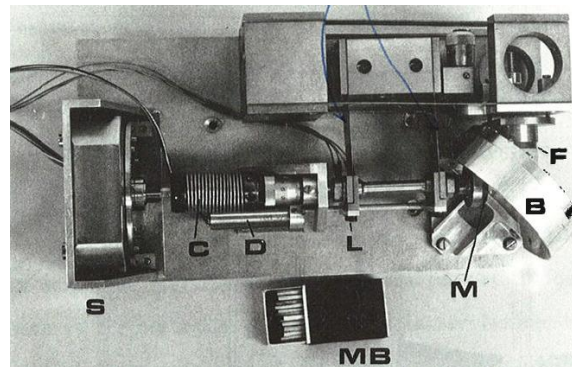
NASA Balloon base  
(Palestine/Texas)



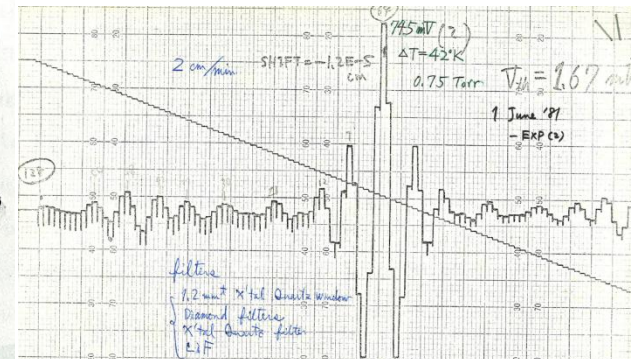
成層圏気球搭載  
1m赤外線望遠鏡



送信・受信・データ解析装置



フーリエ分光器



インターフェログラム

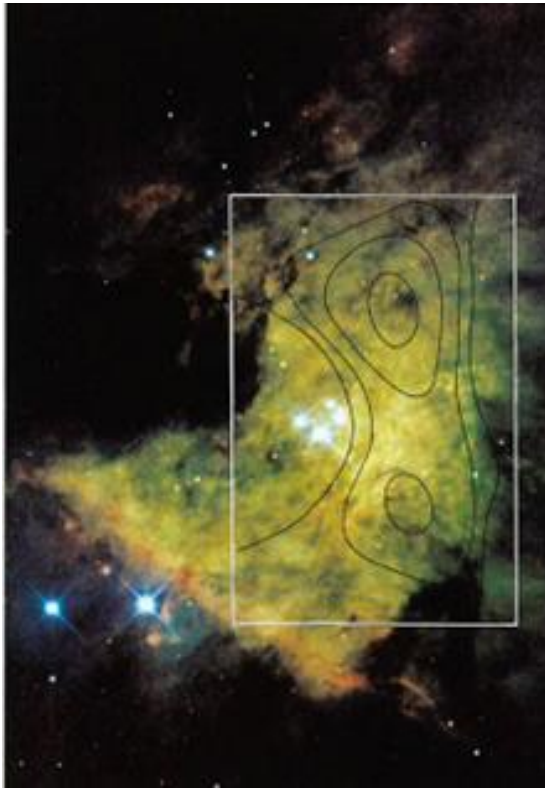
# ポストドク時代の研究内容

Max Planck Institut für Extraterrestrische Physik

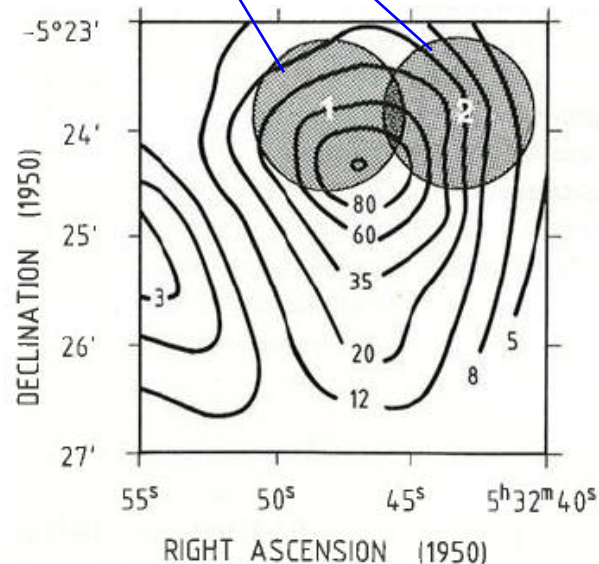
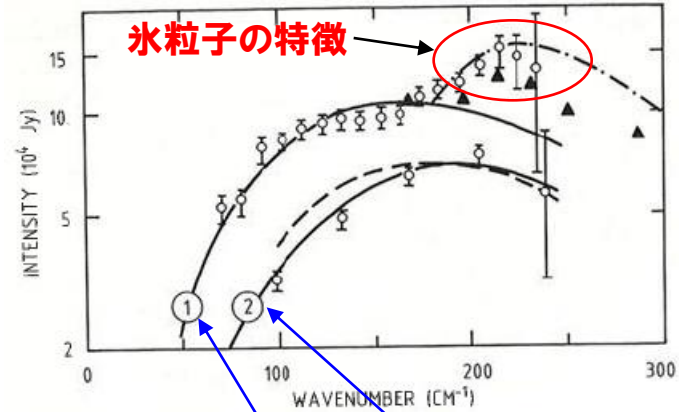
ポストドク: 1981年1月～1982年12月

テーマ: 星の形成領域の遠赤外観測 (成層圏気球望遠鏡+フーリエ分光)

## 星の形成領域の物理・化学現象の解明



Orion星雲の遠赤外線強度分布  
(Deconvolution後)  
可視光の写真に重ね書き



Orion星雲の遠赤外線強度分布 (Deconvolution前)

**【Max Planck研究所Astronomie (Heidelberg) : 1983-1984年4月】**

**➤ 不純物ドーブSiやGaドーブGeの赤外線検出器の感度測定**

**衛星搭載用赤外線検出器のLow photon backgroundでの感度評価**

**赤外線検出器への宇宙放射線の影響と感度回復のための実験的研究**

**ドイツや米国のメーカーが試作した赤外線検出器の感度を評価**

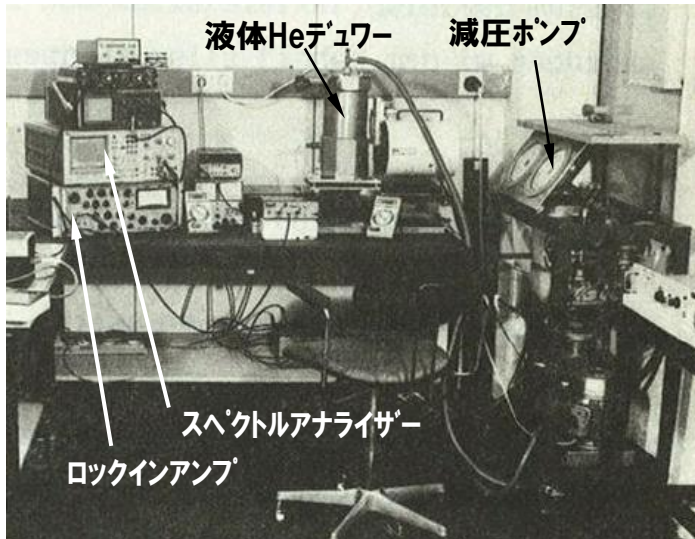
**⇒ サイエンスからエンジニアの分野に少し足を踏み入れた。**

# ポストドク時代の研究内容

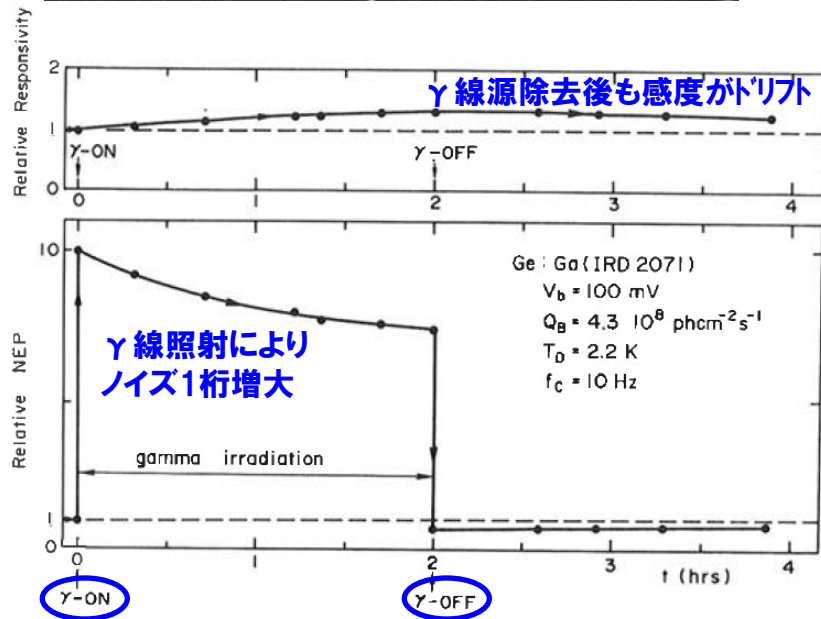
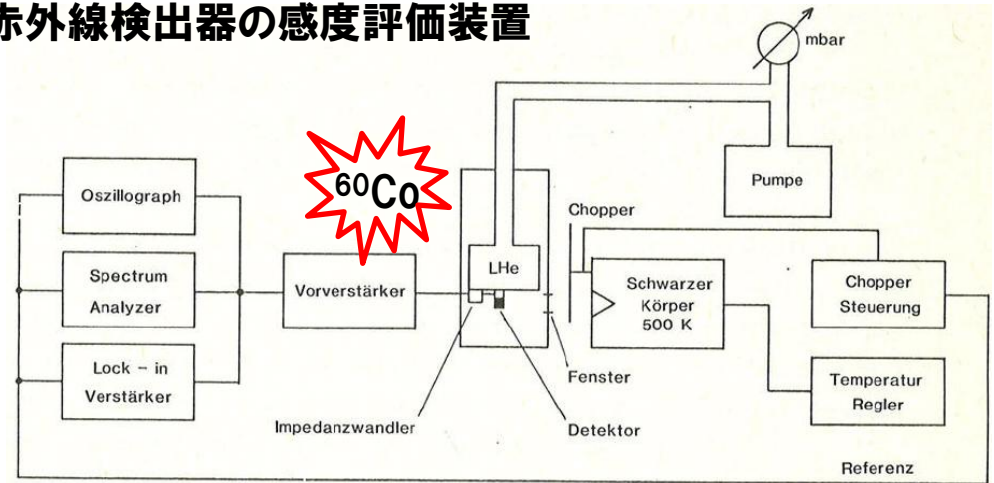
Max Planck Institut für Astronomie (Heidelberg)

ポストドク: 1983年1月～1984年4月

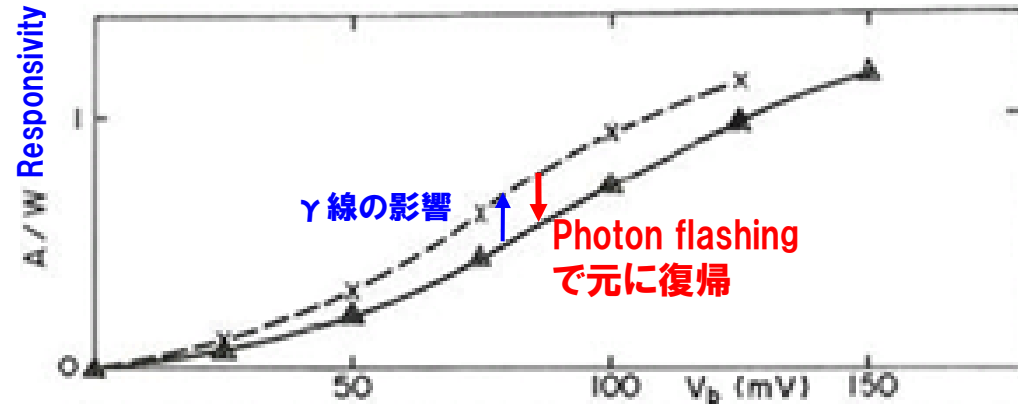
テーマ: 赤外線検出器に対する放射線の影響と回復方法



## 赤外線検出器の感度評価装置



## Y線の影響を元に戻す方法



## 【4年目をどうするか？】

米国に行くチャンスはあったが、諸事情により日本で定職を捜すことに決心。

⇒ 日本のある大学教授に依頼。

丁度、NECの研究所が赤外線検出器の開発を始めたところで研究者が欲しいということで中途採用された（1984年6月）。

## 【海外生活で学んだこと】

- 日本人としての自覚が少しはできた。
- 自律性・独立性ができた。
- 広い人脈を形成する能力ができた。
- Open-mindedな性格になった。



Alpspitze bei Garmisch-Partenkirchen

# NECでの業務

【赤外線検出器の評価系の構築と検出器の設計:1984-1987年(研究所時代)】

## ➤赤外線検出器の評価系の構築

京都大学とMax Planck研究所で取得した技術をベースに構築。

## ➤HgCdTe赤外線検出器の感度向上のためのデバイス設計

HgCdTe赤外線検出器の論文を貪り読み、そこから得た知識をベースに、通称「回字形デバイス」を発明・製品化。

⇒ 赤外線検出器の評価に関し後継者も育った。

---

NECの赤外線検出技術を強化するため、次に何をすべきかを考えた。

⇒ 全く異分野のHgCdTeエピ結晶の気相成長技術の開発をやることに決心。

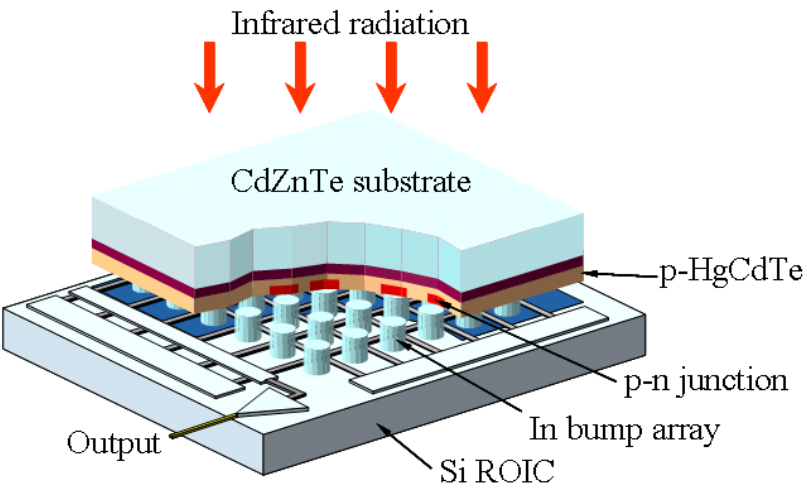
問題はMBEかMOCVDどちらにすべきか。

数ヶ月、文献を貪り読んだり他の研究部の意見を聞いて長所短所をまとめた結果、MBEを選択することに決定。タイミングよく、HgCdTe赤外線検出器の開発に関する官公庁のプロジェクトが立上る直前であった。事業部からの開発依頼の下、MBE-HgCdTe結晶成長技術の立上げを研究所所長に提案し承認された。同Pj受注。

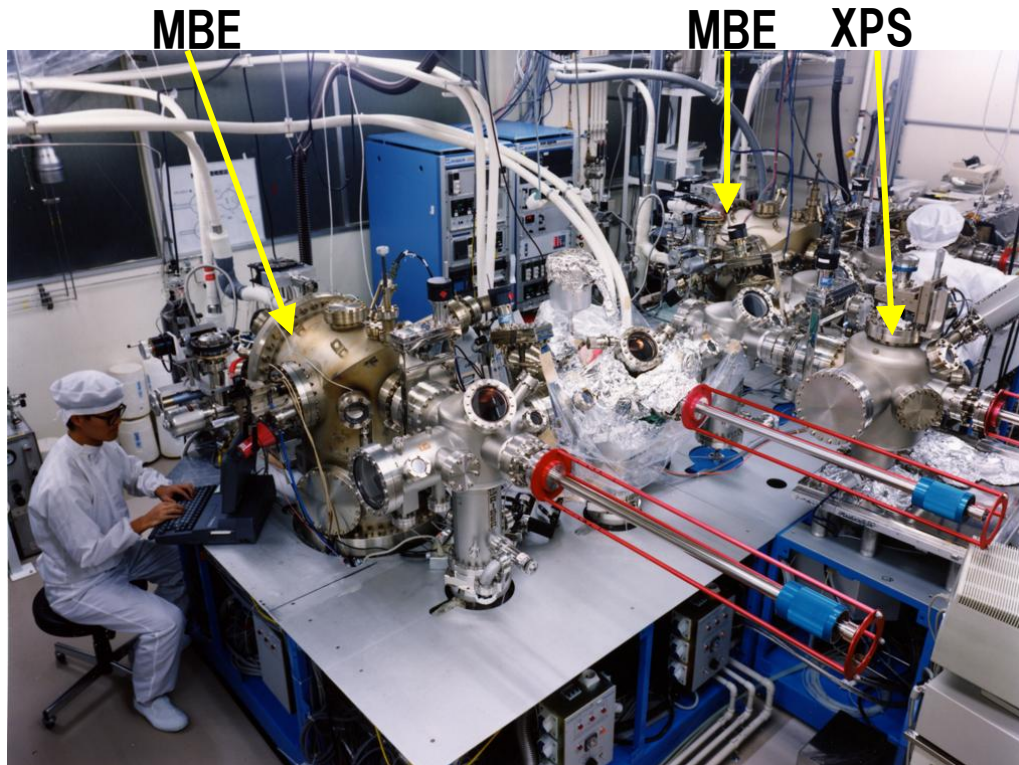
# 【冷却型赤外線アレイセンサの開発：1988-1996年（研究所時代）】

- MBE-HgCdTe結晶成長チームを率い、CdZnTe基板上のHgCdTeエピ結晶成長に成功し、それを64x64の2次元赤外線フォトダイオードアレイに適用し赤外画像を取得することに成功。官公庁Pjを無事完了（1991年頃）。このPjはしんどかったが、お陰で結晶成長屋に変身することができた。
- その後GaAsやSi上のHgCdTeエピ結晶成長の技術を開発し、256x256を開発した。

## ハイブリッド型2次元赤外線アレイセンサの開発

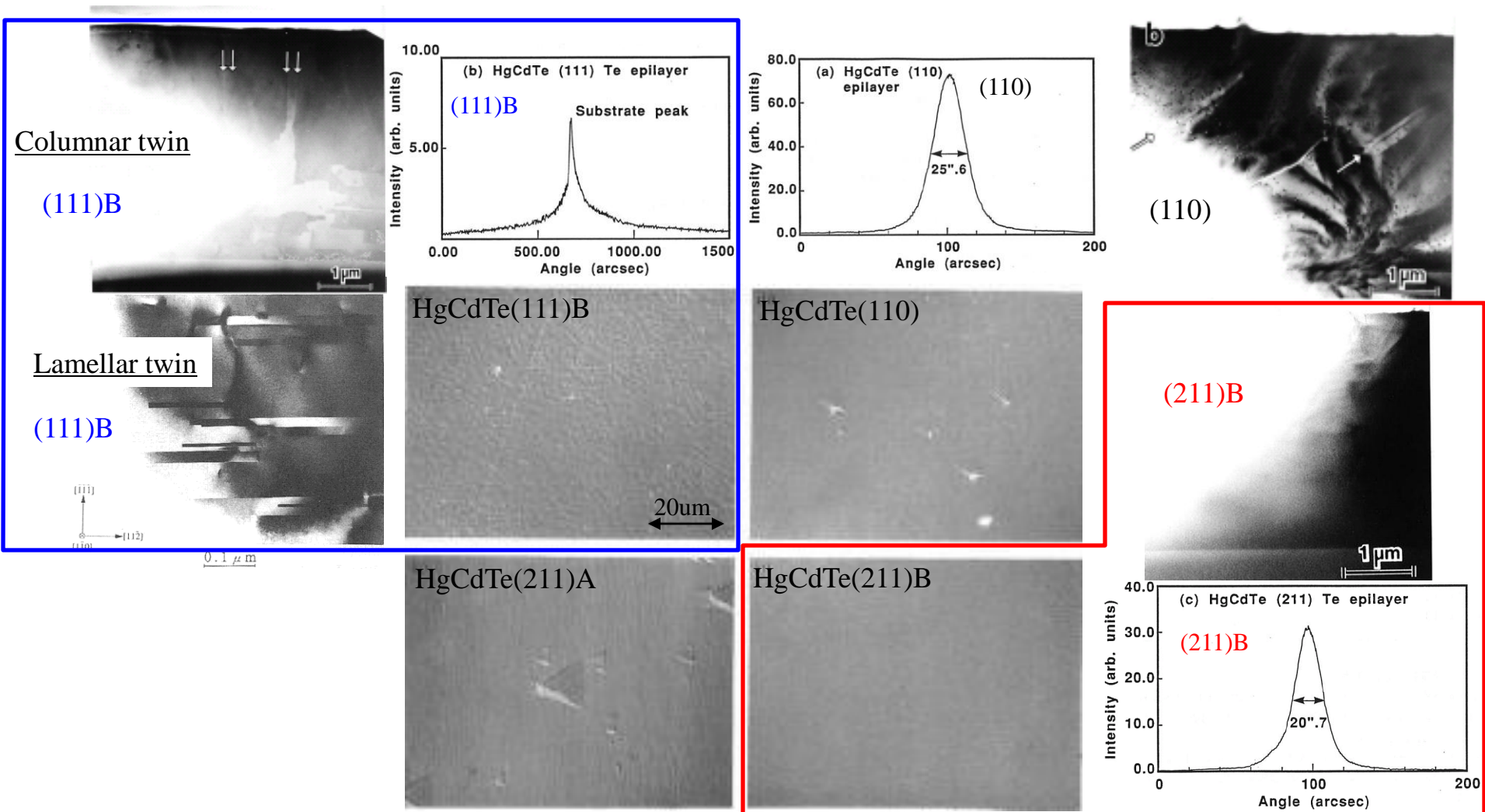


ハイブリッド型赤外線アレイセンサ



# CdZnTe基板上的MBE-HgCdTe成長

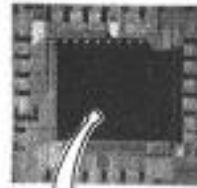
- CdZnTe基板上的HgCdTe MBE成長にとって、(211)B 面方位が適している。
- ⇒ ステップ成長が双晶のない結晶成長にとって本質的。



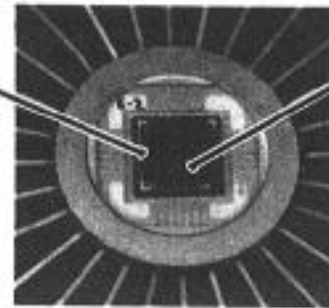
# 2次元赤外線アレイセンサの開発



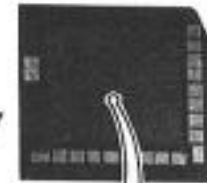
READOUT CIRCUIT



INDIUM BUMPS



DEVICE TOP VIEW



PHOTODIODE ARRAY  
ON MBE-HgCdTe



## 熱赤外画像

画素数:  $64 \times 64$

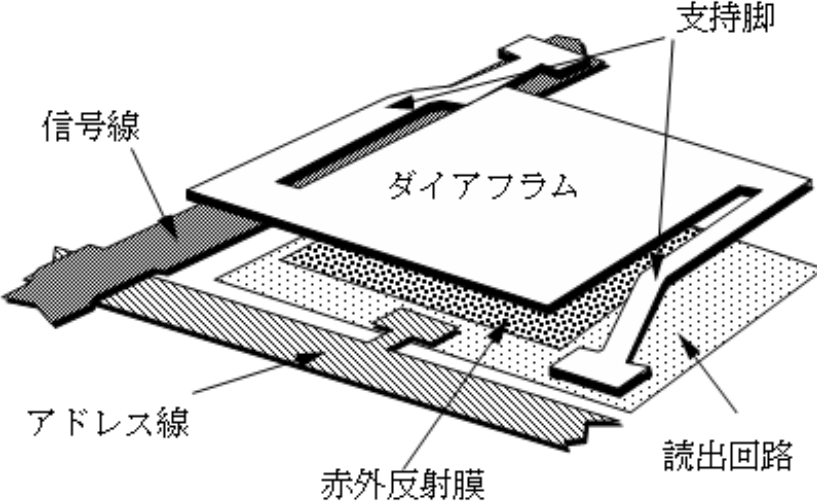
画素ピッチ:  $50\mu\text{m}$

カットオフ波長:  $10.7\mu\text{m}$

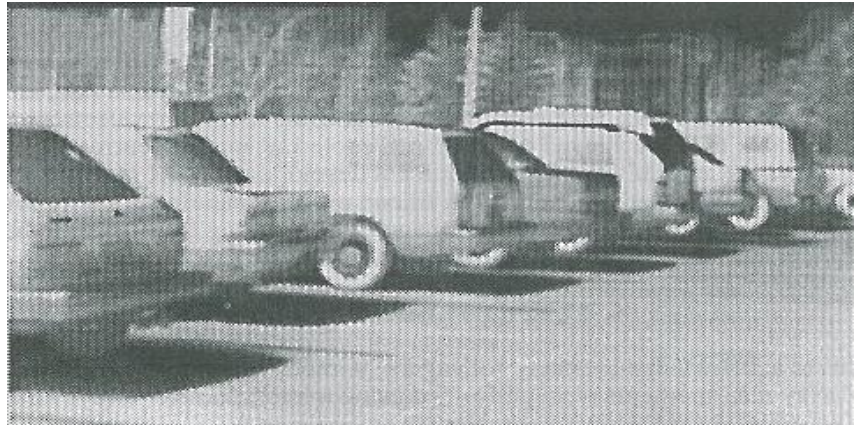
温度分解能:  $0.1\text{K @F}/2.5, 60\text{Hz}$

# ◆非冷却型赤外線アレイセンサの出現◆

冷却型赤外線アレイセンサの開発中、1992-1993年頃、米国国防省の長年のPjの成果として、高感度非冷却型赤外線アレイセンサが米国2社から公開された。これは実にショック。半年かけて、関連文献を貪り読み自分なりに感度計算を行い、何をすればそれを実現できるか結論を出した。  
⇒ボロメータ型非冷却赤外センサの開発の開始をスポンサー事業部に提案。承認された。



ボロメータ型非冷却赤外線アレイセンサの画素構造 (Honeywell社)



熱赤外画像  
画素数：320x240  
画素ピッチ：50um  
温度分解能：40mK (F/1, 30Hz)

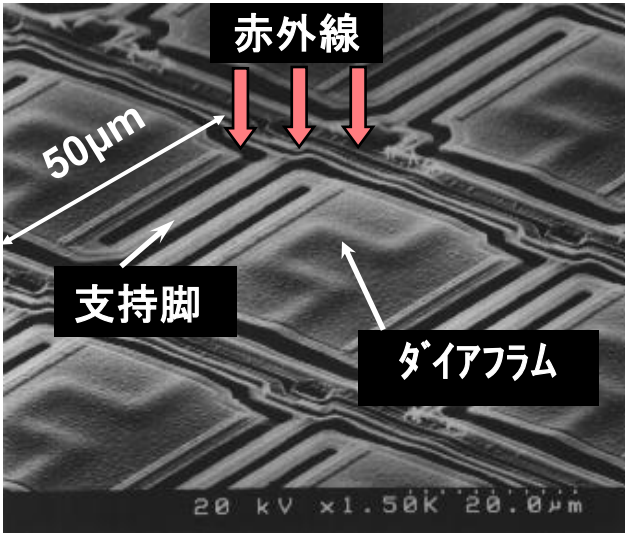
【非冷却赤外線アレイセンサの開発・生産：1993-現在（2000年度から事業部に異動）】

➤まず時間のかかるホロメータ材料薄膜の研究を立ち上げた。

最小限の技術者で材料開発だけに集中。

➤目途が付いたところで、プロセス、読出回路等の技術者を投入。

➤官公庁Pjを受注し1996年に256x256非冷却赤外線アレイセンサ・カメラの開発を達成。



256x256非冷却赤外線アレイセンサの画素構造



熱赤外画像  
温度分解能:0.15 K @ F/1

## 【非冷却赤外線アレイセンサの開発Pjで得た技術】

- 金属酸化物ホロメータ材料成膜技術
- MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems) 技術
- Si読出回路技術
- 真空パッケージ技術

⇒ 研究フェーズから開発・生産フェーズに移行

- 製造ラインの構築
- 製品の信頼性技術
- 製品供給・販売促進のノウハウ

SPIEでのブース展示、海外メーカとの交渉

- 販売中のアレイセンサ

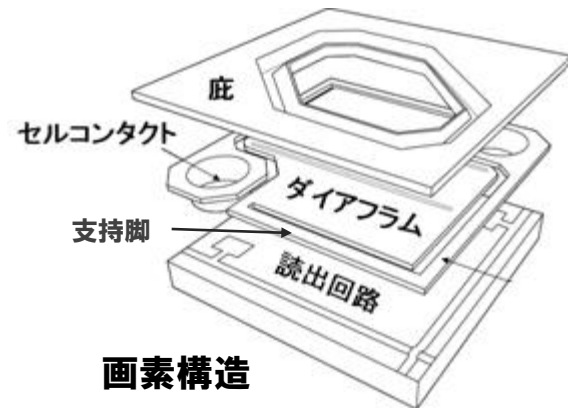
320x240, 640x480



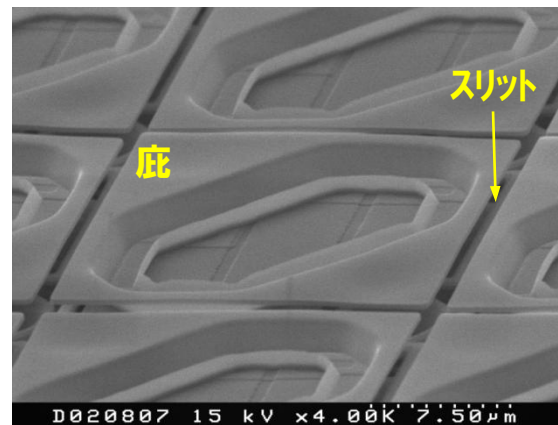
320x240パッケージ



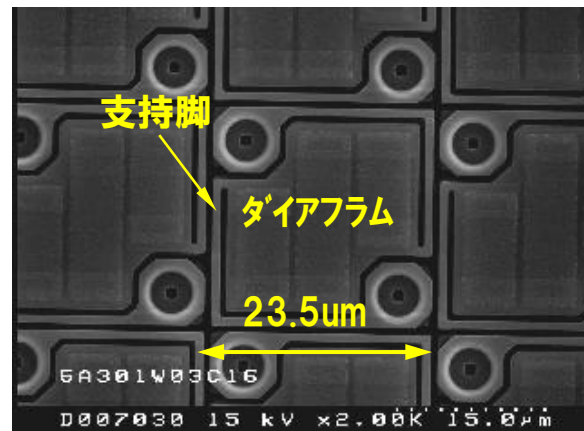
640x480パッケージ



画素構造



2nd floor (Fill factor : 90%)



1st floor (Fill factor : 60%)

# 熱赤外画像例

## 640x480非冷却赤外線アレイセンサ



640x480センサ  
モジュール



温度分解能: 50mK @F/1, 30Hz

<http://www.nec.co.jp/geo/en/products/hx3100.html>

<http://www.nec-avio.co.jp/jp/products/ir-module/lineup/sensor.html>

# 新規技術開発への挑戦

## 【THzアレイセンサ・カメラの開発】

更に2007年度より、官公庁の委託研究に参加し、非冷却赤外アレイセンサ・カメラ技術をベースにTHzアレイセンサ・カメラの開発を行っている。

## 【その他、赤外・THzと無関係の化学分野のセンサ開発も行っている】

化学・バイオ分野の研究者とも輪が広がっている。

## 【赤外線アレイセンサの開発で得たこと:技術以外】

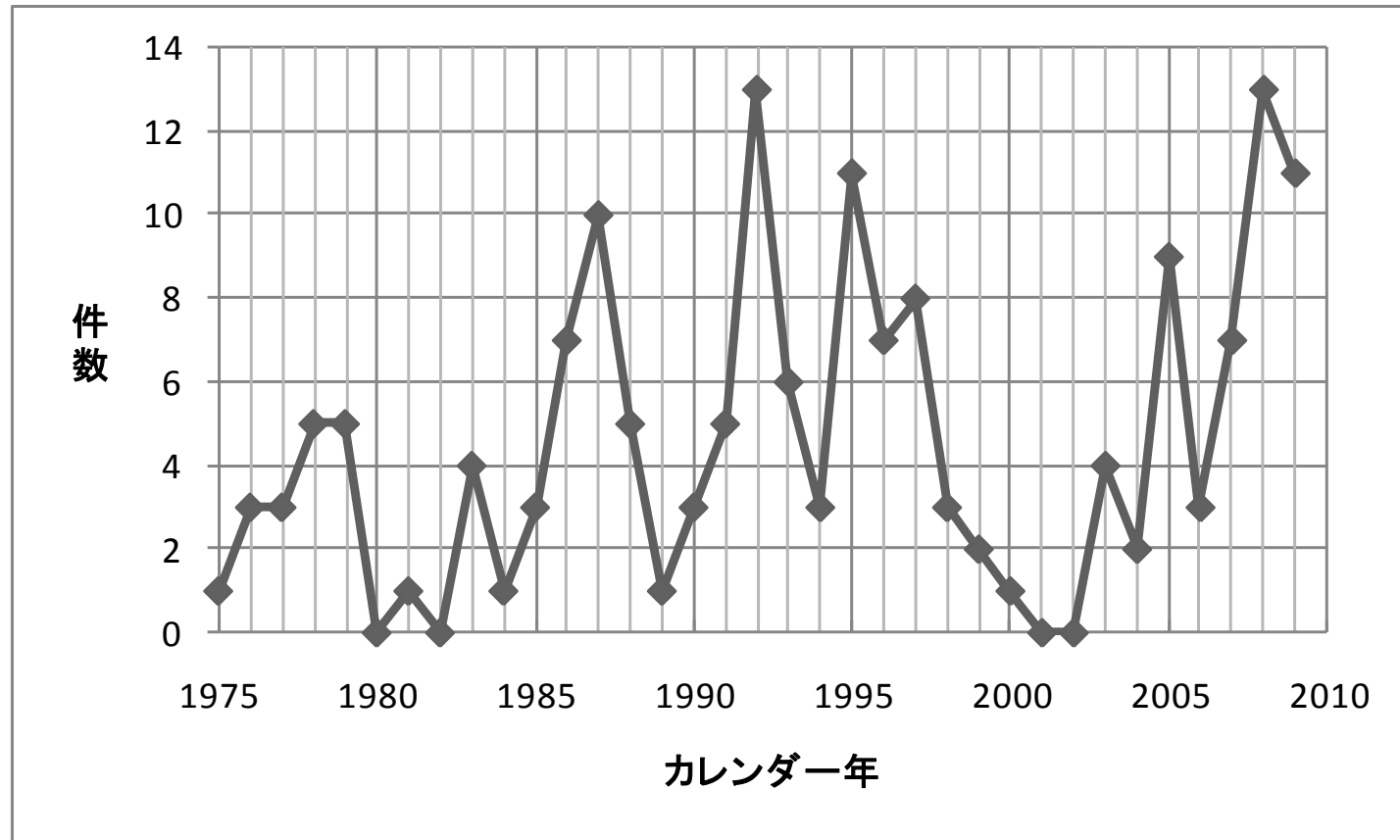
➤ 米国、欧州、韓国、中国等の赤外分野の研究者・技術者と知り合いになった。

赤外線天文学用アレイセンサの製造メーカの研究者や技術者がいたり、Max Planck研究所 Astronomieの後輩がハワイ大学でアレイセンサ開発Pjの責任者だったり、人の巡り合わせの妙を楽しんでいる。

➤ 米国政府の研究所に異動した米国のメーカーや大学出身の研究者と国際会議で今でも交流している。



# 論文・口頭発表・単行本・講義・パネリストの件数の推移



学位取得(1979年)に関係した件数の増加

1983-1985年:Max Planck研究所の成果の現れ

1987年のピーク:冷却型HgCdTe赤外線検出器の評価方法の構築と新光伝導型検出器の開発の成果

1992年のピーク:MBE-HgCdTe結晶成長の成果

1997年:ボロメータ型非冷却赤外線アレイセンサの開発の成果

1998-2002年:非冷却赤外線アレイセンサの生産活動のため件数の減少

2003-2007年:新非冷却赤外線アレイセンサの開発と拡販活動の成果

2008-2009年:非冷却THzアレイセンサの開発の成果

## まとめ (1/3)

### 【私自身の研究開発のアプローチの仕方】

➤ ベストを尽くして公知事実を自ら調べ、まとめる。

大学院とポストドク時代に身に付けた。

➤ 様々な研究者・技術者に直に会って、彼らの研究内容を自分の目で確かめる。

ポストドク時代に身に付けた。

➤ 自分でモデル計算 (シミュレーション) を行い理解する。

大学院とポストドク時代に身に付けた。

➤ 後は、計画を立て、実行し、結果を評価し、課題を見つけて改善していく。

主に会社で身に付けた。

注) 大学院とポストドク時代、成層圏気球を用いた観測を行ってきたので、少しは納期を意識して研究していた (相手先: 宇宙科学研究所、NASA)。

## まとめ (2/3)

### 私からのメッセージ

#### 【ポストドクの方々へ】

- 自分の現在の専門性にこだわらないこと。
- 自分の適性を知っている者は、自分とは限らない。  
You do not know yourself.
- 正しいと判断したら、異なる分野に踏み込むのに躊躇しないこと。

注) これは本当に勇気が要る。

You will find unknown parts of yourself.

#### 【コメント (私の経験より)】

欧米のポストドクは、研究分野、製造分野、営業分野に分布している。ハイテクセールスは開発した本人が行っている。

## まとめ (3/3)

### 【企業の管理職の方々 (大学の教授達) へ】

➤ **ポストドクや企業の研究者・技術者に熟慮する時間を与えること。**

**ポストドクや企業の研究者・技術者は、それに応えて、自分の結論・意見を見つけ出すこと。**

**そして、自信のある考えを持って、上司の方々と議論し、より良い結論を導き出すこと。間違っていたら互いに素直に認めること (Nobody is perfect) 。**

**⇒ 強い頭を持つ、考え抜く人を育てる。自律性が高く、世界と渡り合える人材が育つ。これが日本の将来の技術を育てる基本である。**

**欧米の研究者・技術者はこれが習慣になっている。だから技術力に差がついている。**

# 最後に

- 強い頭を持って
- 世界と渡り合い
- 良いライバルを見つけ
- 良い競争をしよう

⇒ 日本の技術力向上・世界のリーダーへ