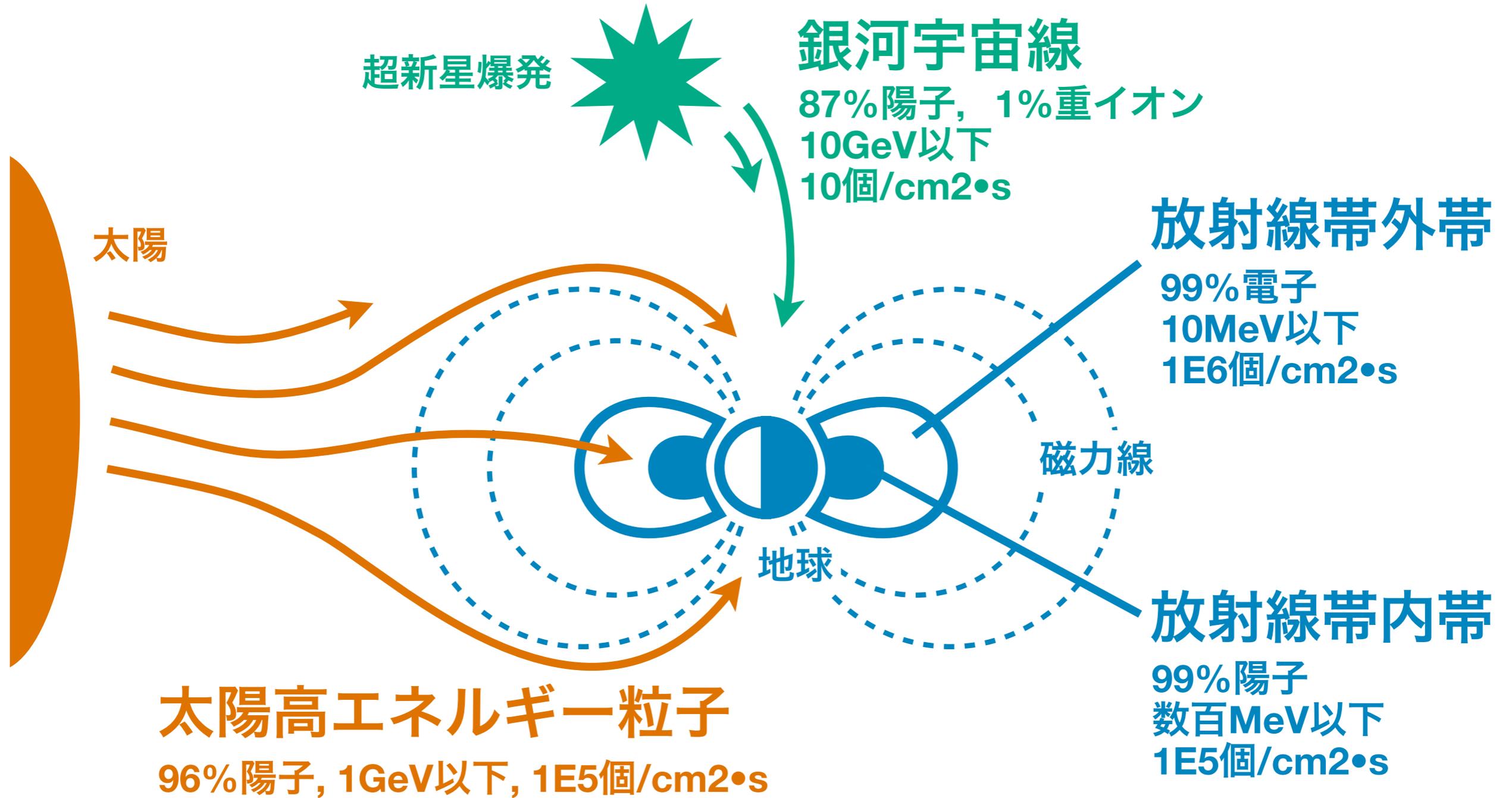


# 宇宙機用LSIの動作を阻害する 放射線パルスノイズの解明とモデル化

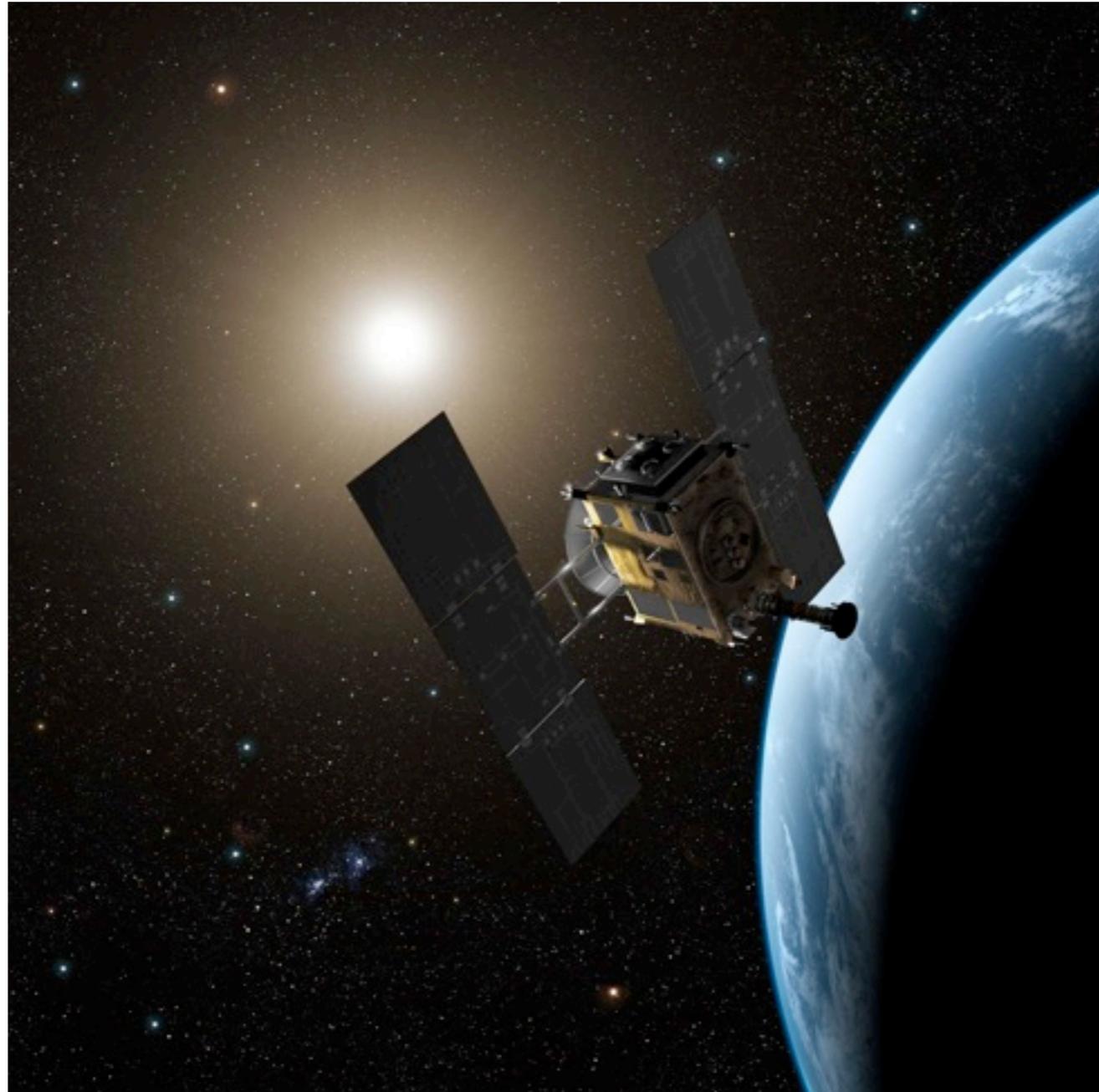
JAXA宇宙科学研究所  
小林大輔

# 宇宙は過酷な放射線環境

A.H. -Siedle & L. Adams, "Hand book of radiation effects", Oxford, 2001などを元に作成

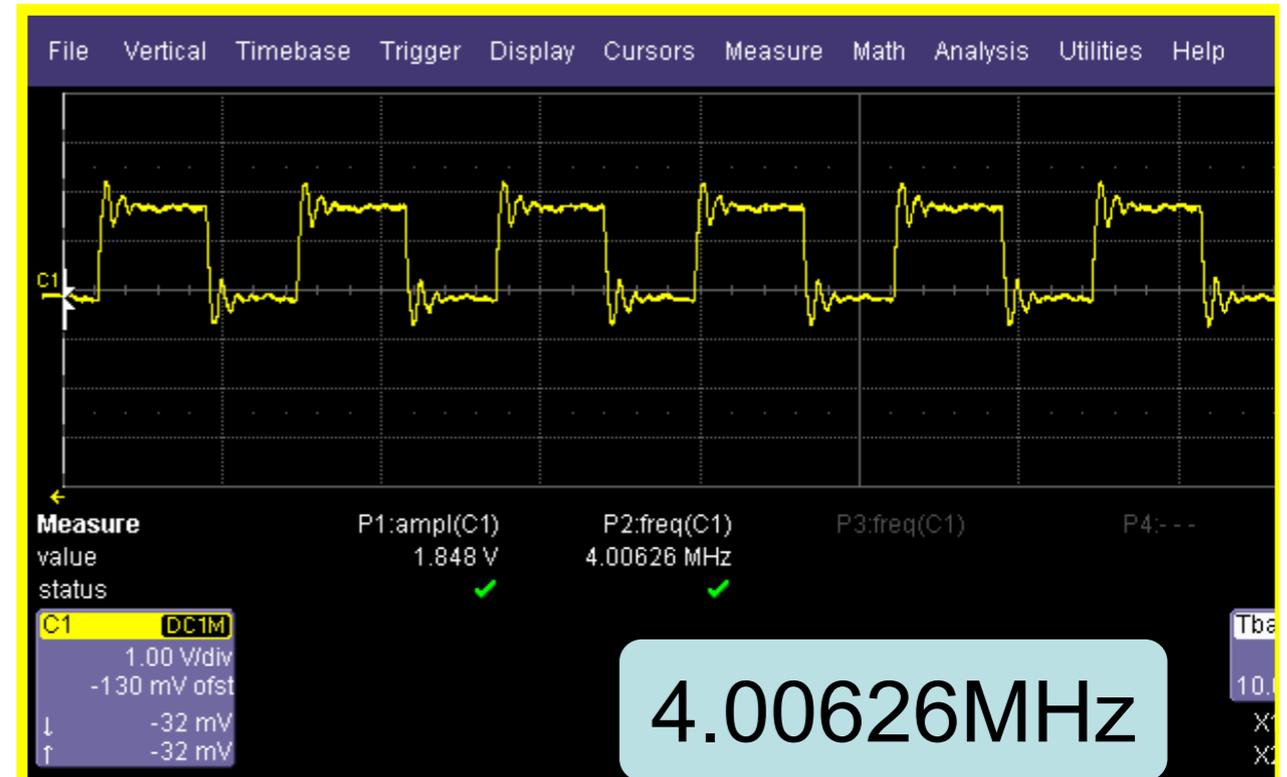
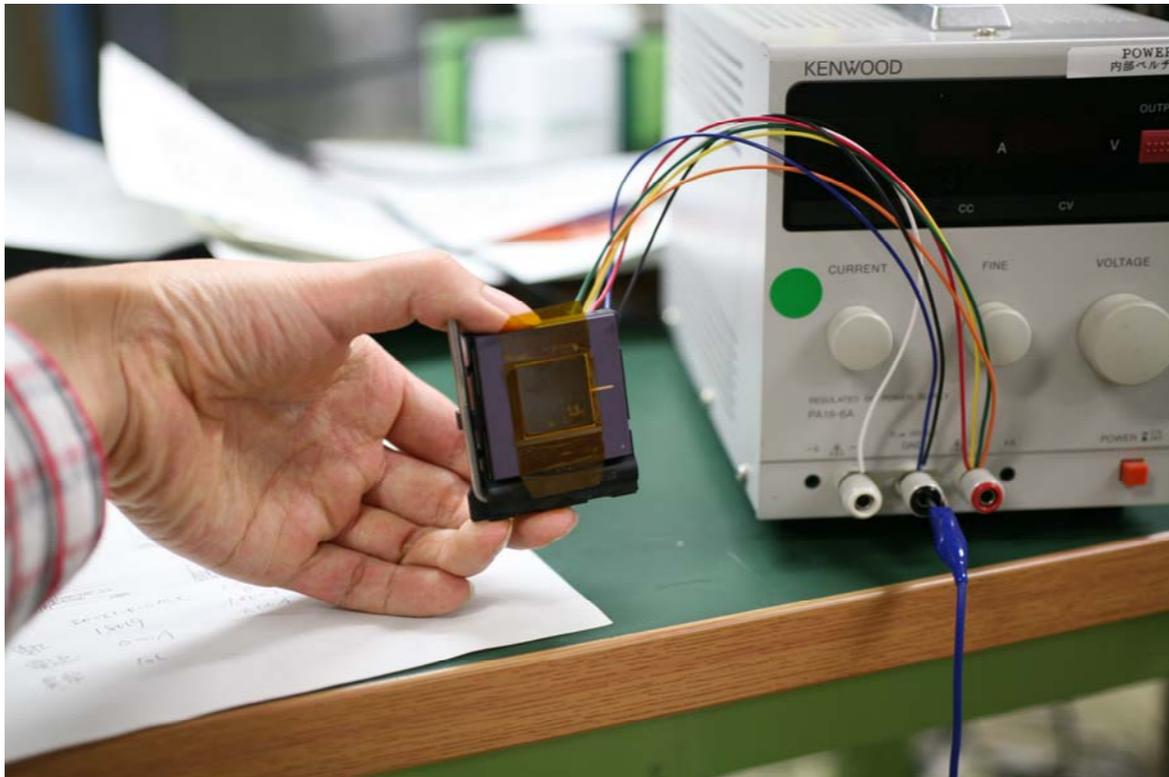


# 宇宙に行くには放射線対策が必要



はやぶさ（スイングバイ） ©池下章裕, JAXAデジタルアーカイブス

# 宇宙機の頭脳「LSI」



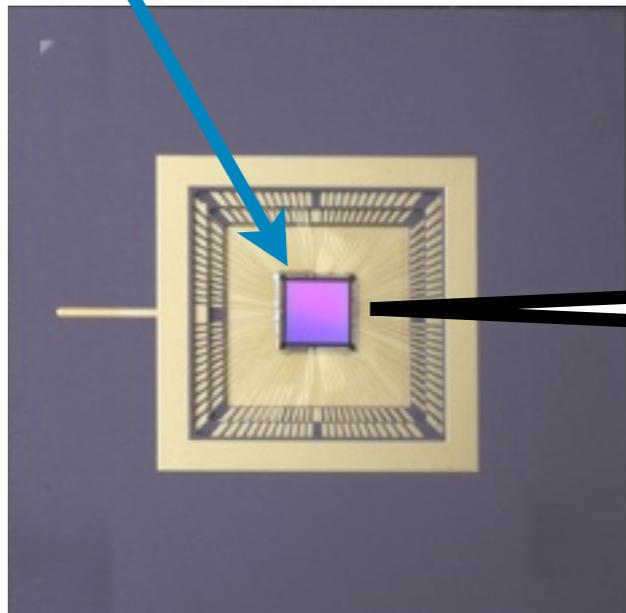
提供柳川博士

## 電気信号の形で情報を処理

# LSI: Large Scale Integration

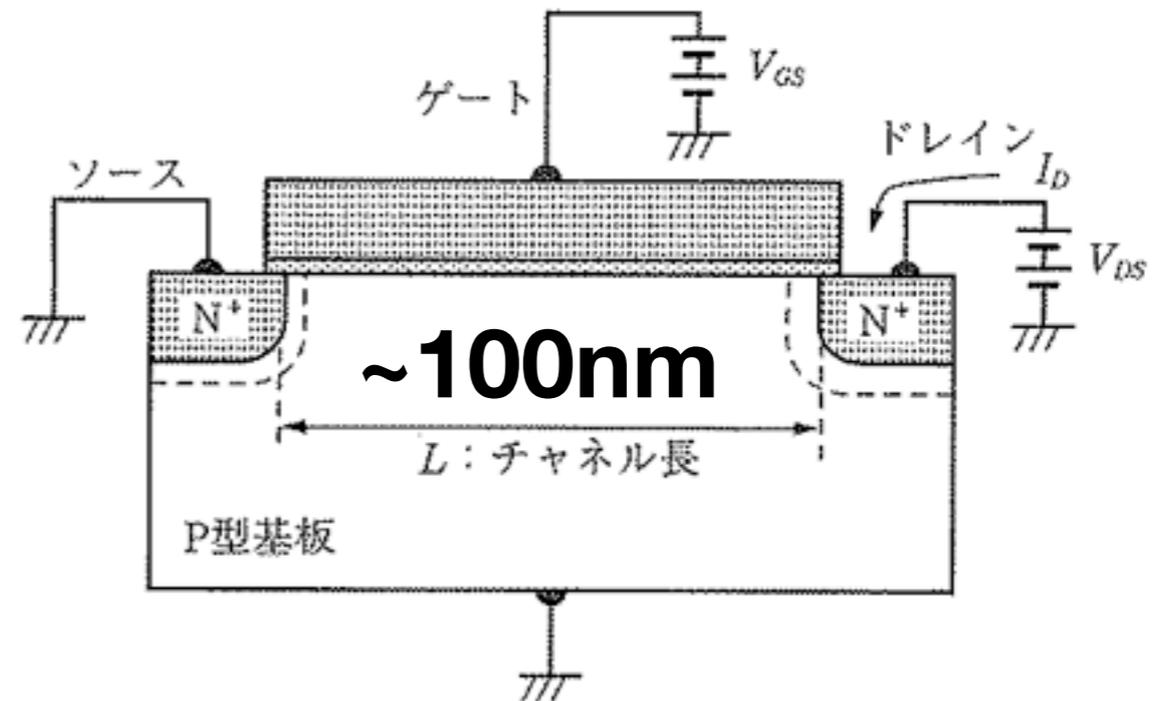
LSI

~1cm角



柳川博士提供

トランジスタ



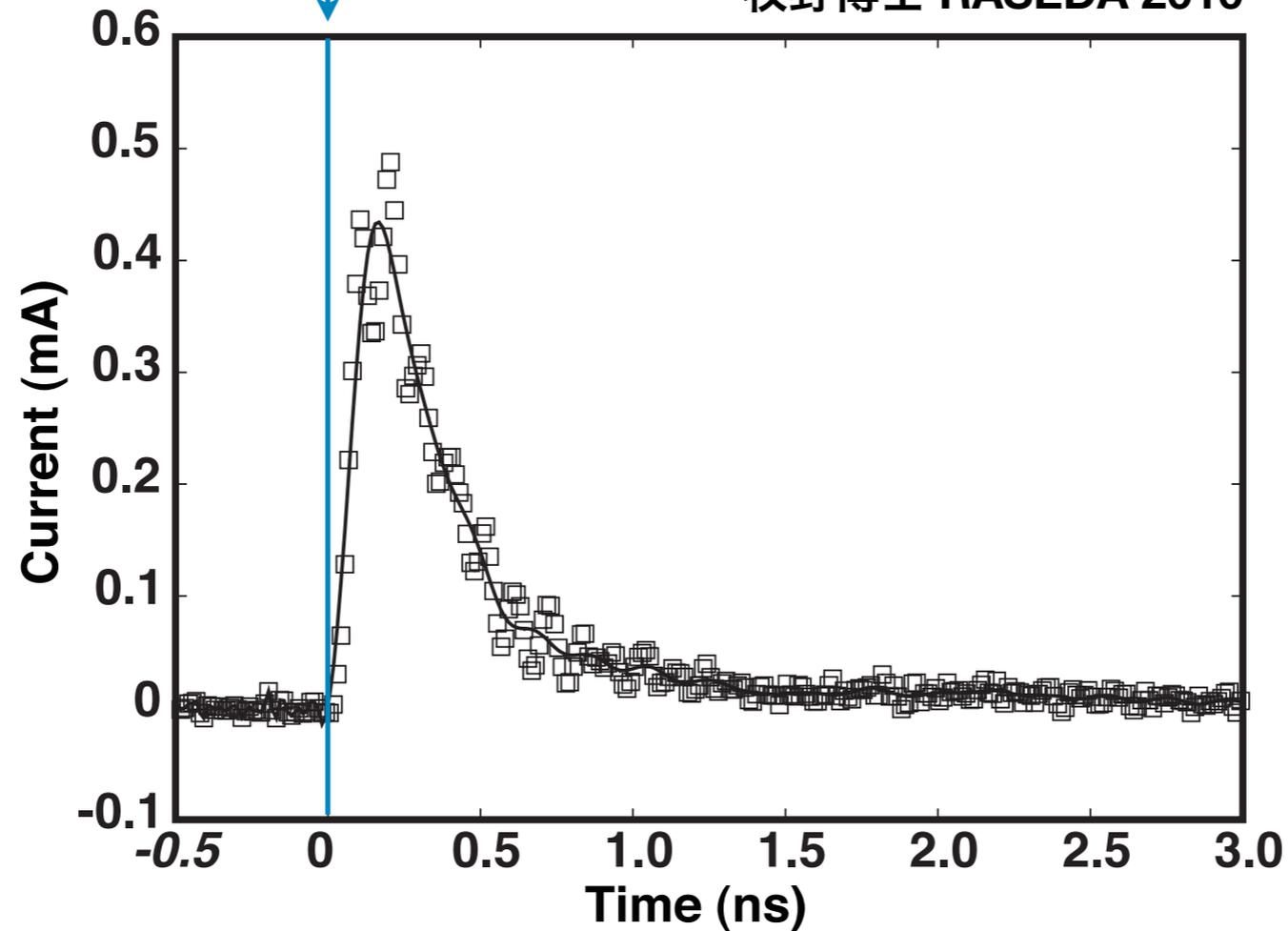
柴田直先生「半導体デバイス入門」昭晃堂

微細なスイッチ「トランジスタ」の集積体  
スイッチが高速にON/OFFして電気の流れを制御する

# 放射線に弱い

放射線1発がスイッチに当たる

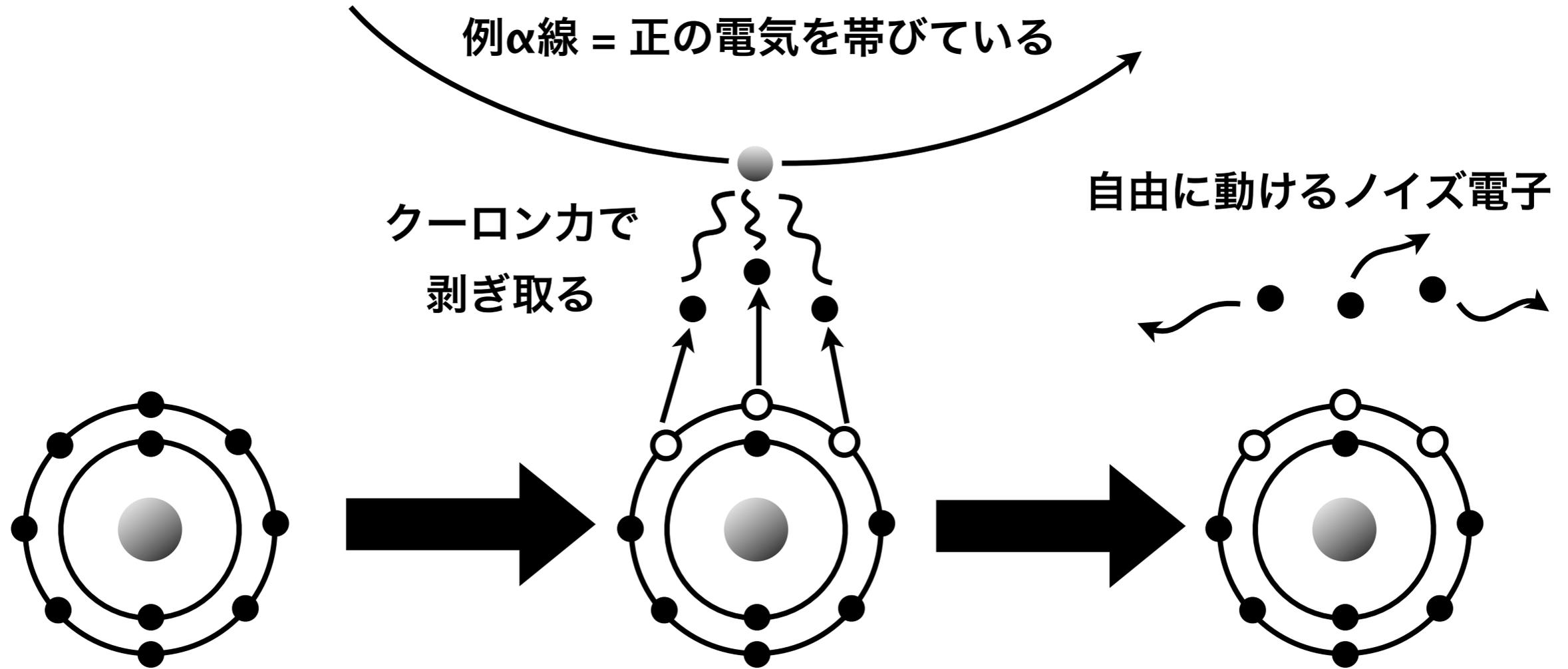
牧野博士 RASEDA 2010



制御されていない電気信号「ノイズパルス」が発生  
誤動作を起こす

# なぜ電気ノイズが発生するのか

## 放射線



安西育郎先生「放射線と放射能」ナツメ社を元に作成

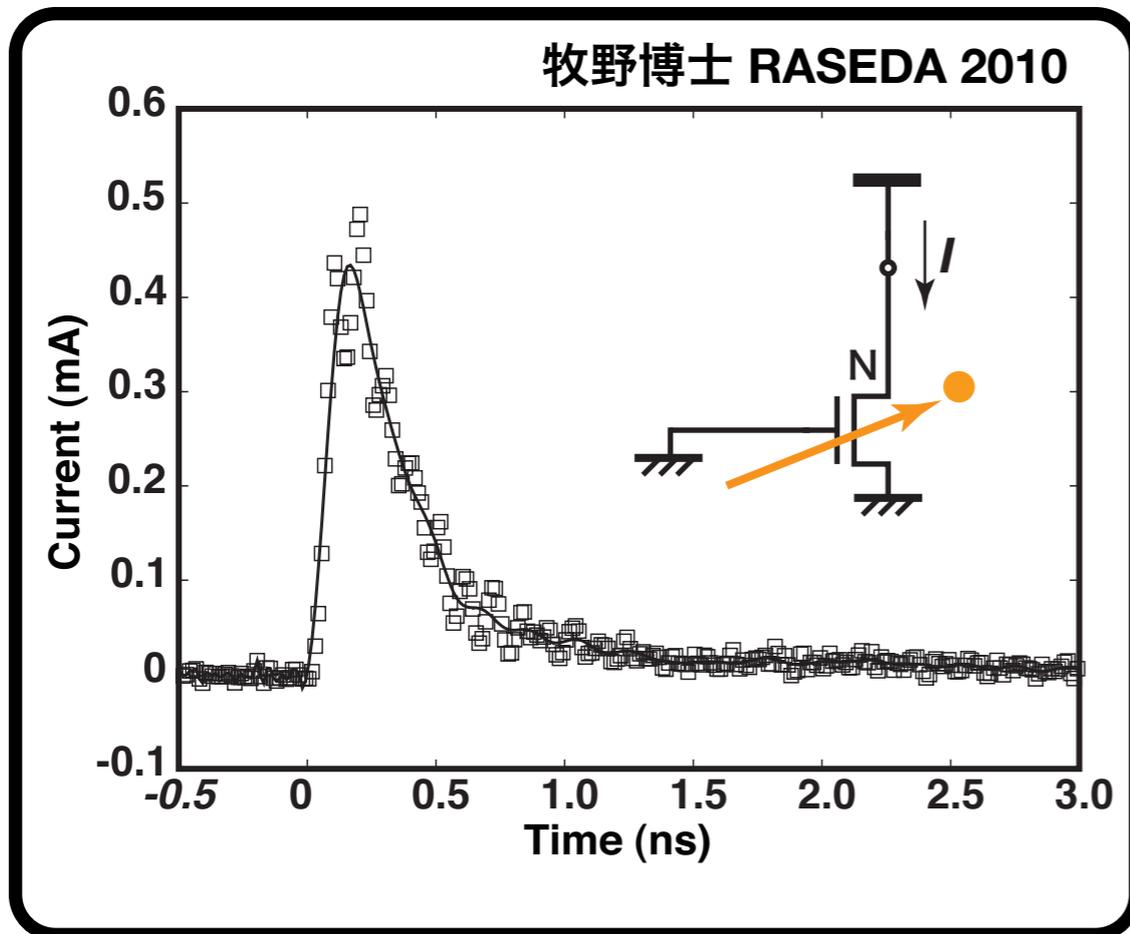
発生するノイズ電子の量 $Q_{DEP}$ が重要

この量は放射線強度のパラメータLETで推定できる

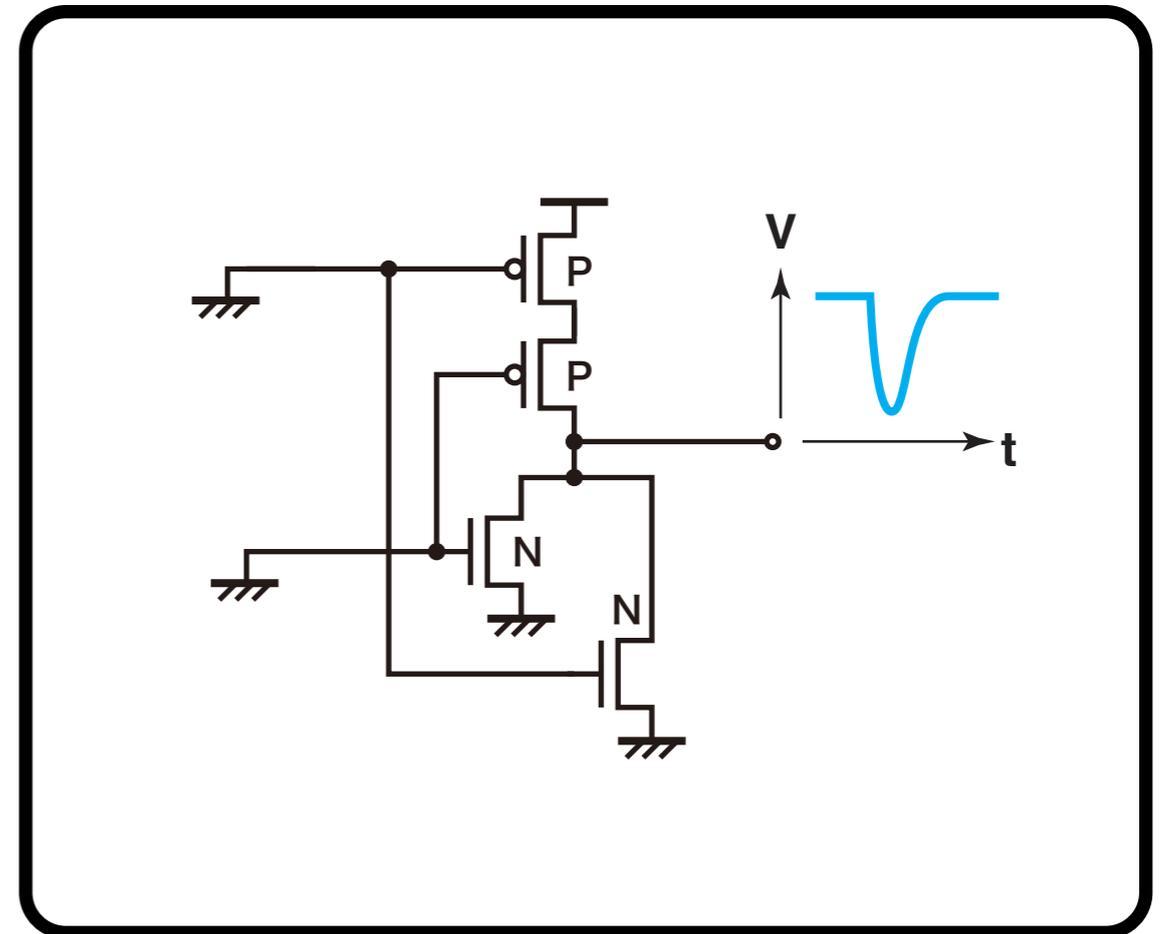
# 対策にはパルスノイズの解明が必要

スイッチ素子1つ

回路



≠



スイッチのノイズではなくて回路のノイズが必要

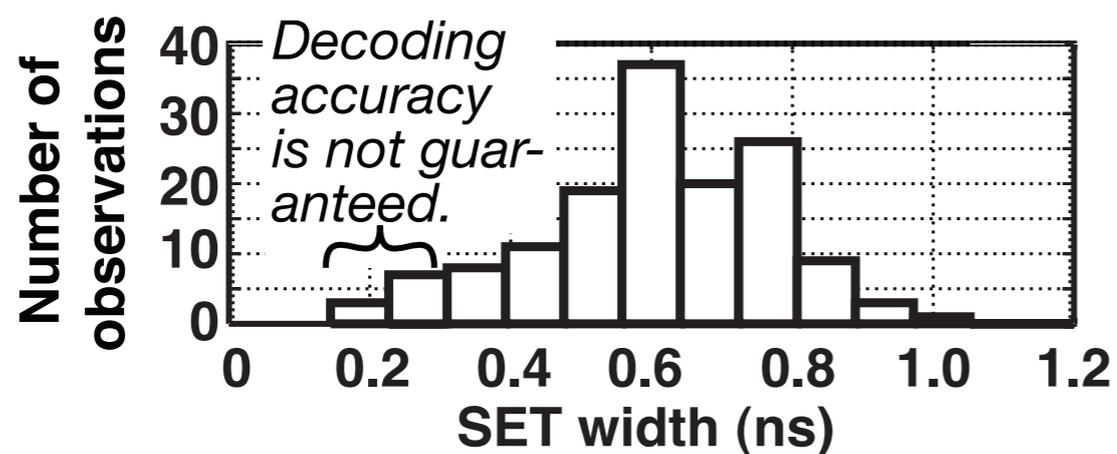
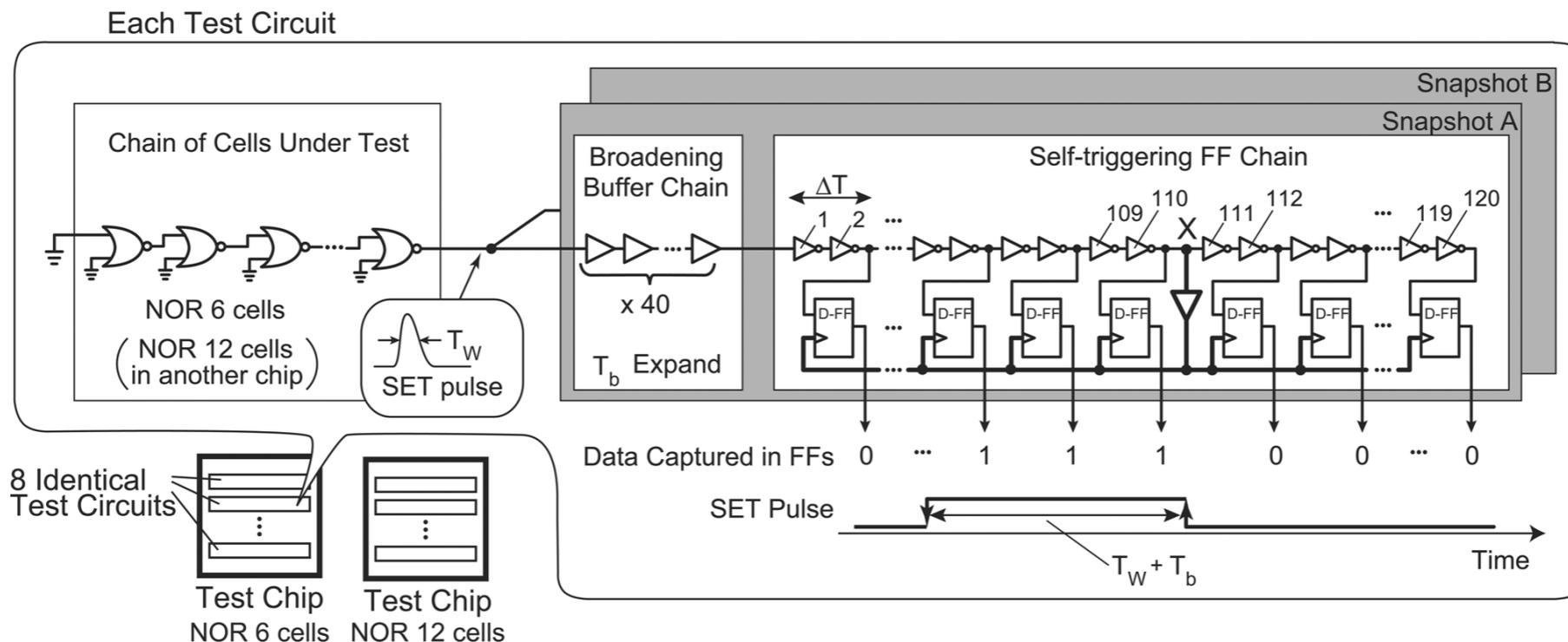
# この研究の成果

回路における放射線ノイズパルスを解明しモデル化

1. 測定法
2. 推定法
3. 理論

# 既存の測定方法

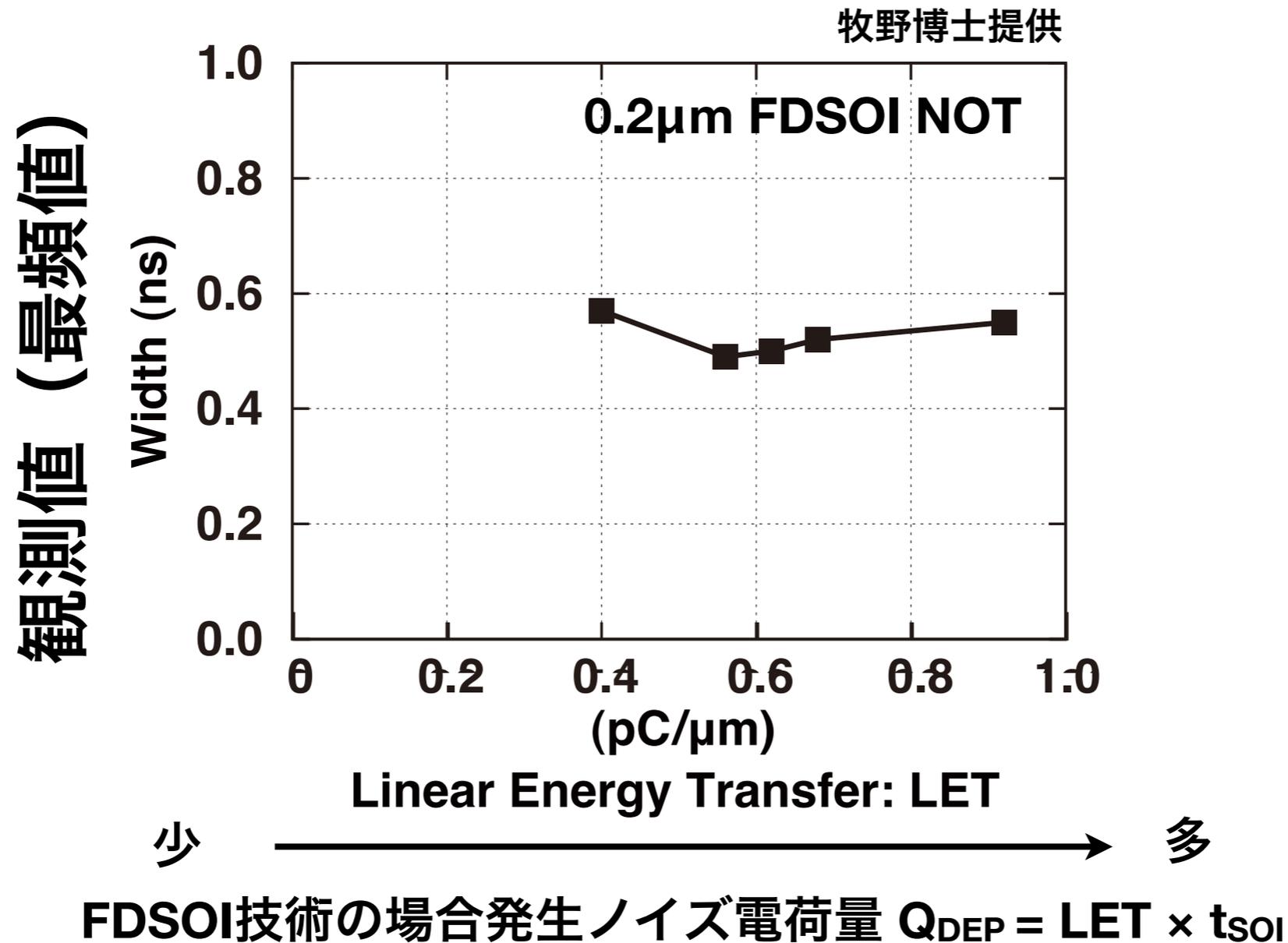
Yanagawa et al., IEEE TNS 53(6) 2006 p3575



**0.2 $\mu$ m FDSOI NOR  
256 MeV Ni**

自動測定回路を設計. 幅を観測できる.

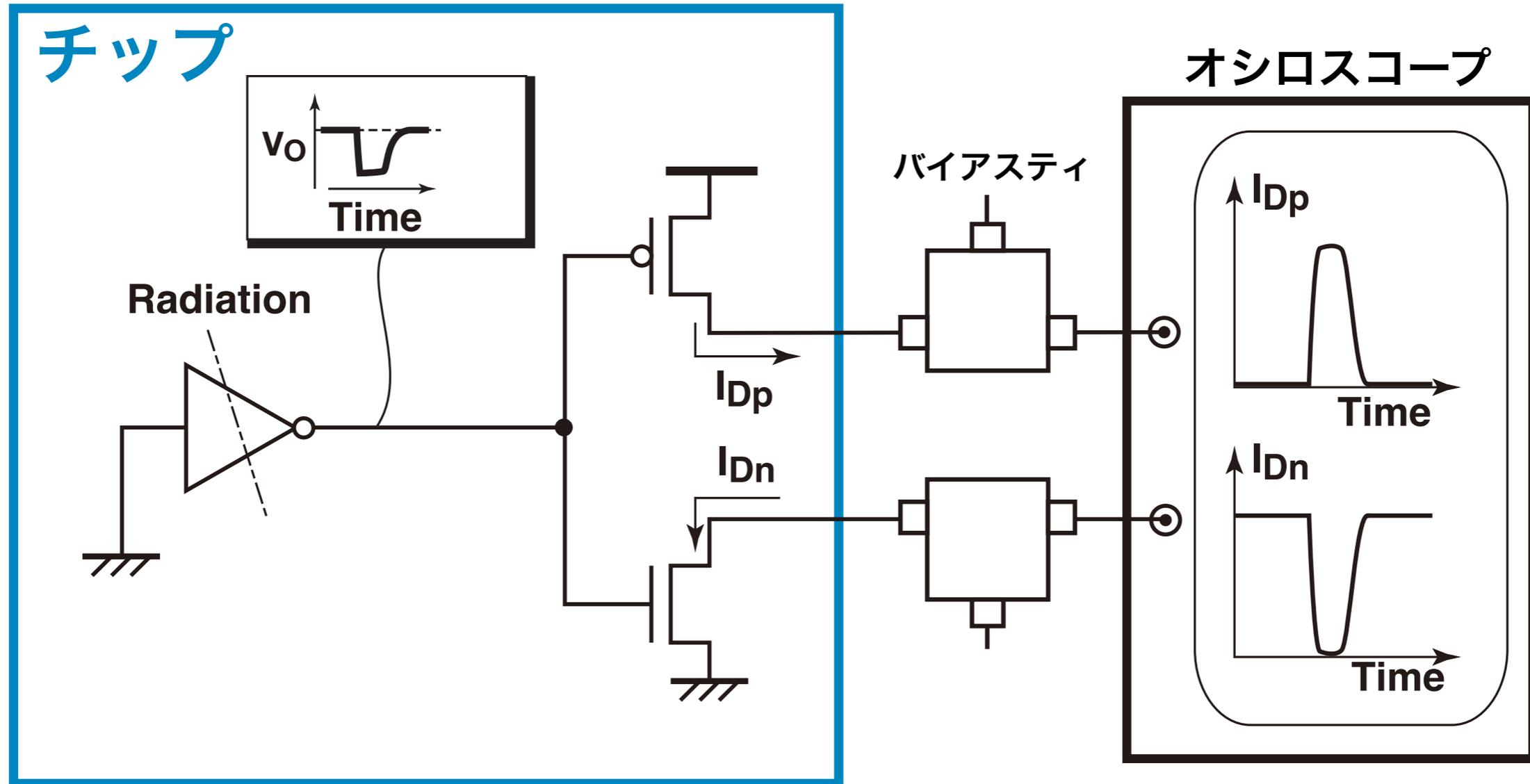
# 既存技術の成果：幅と放射線強度の関係



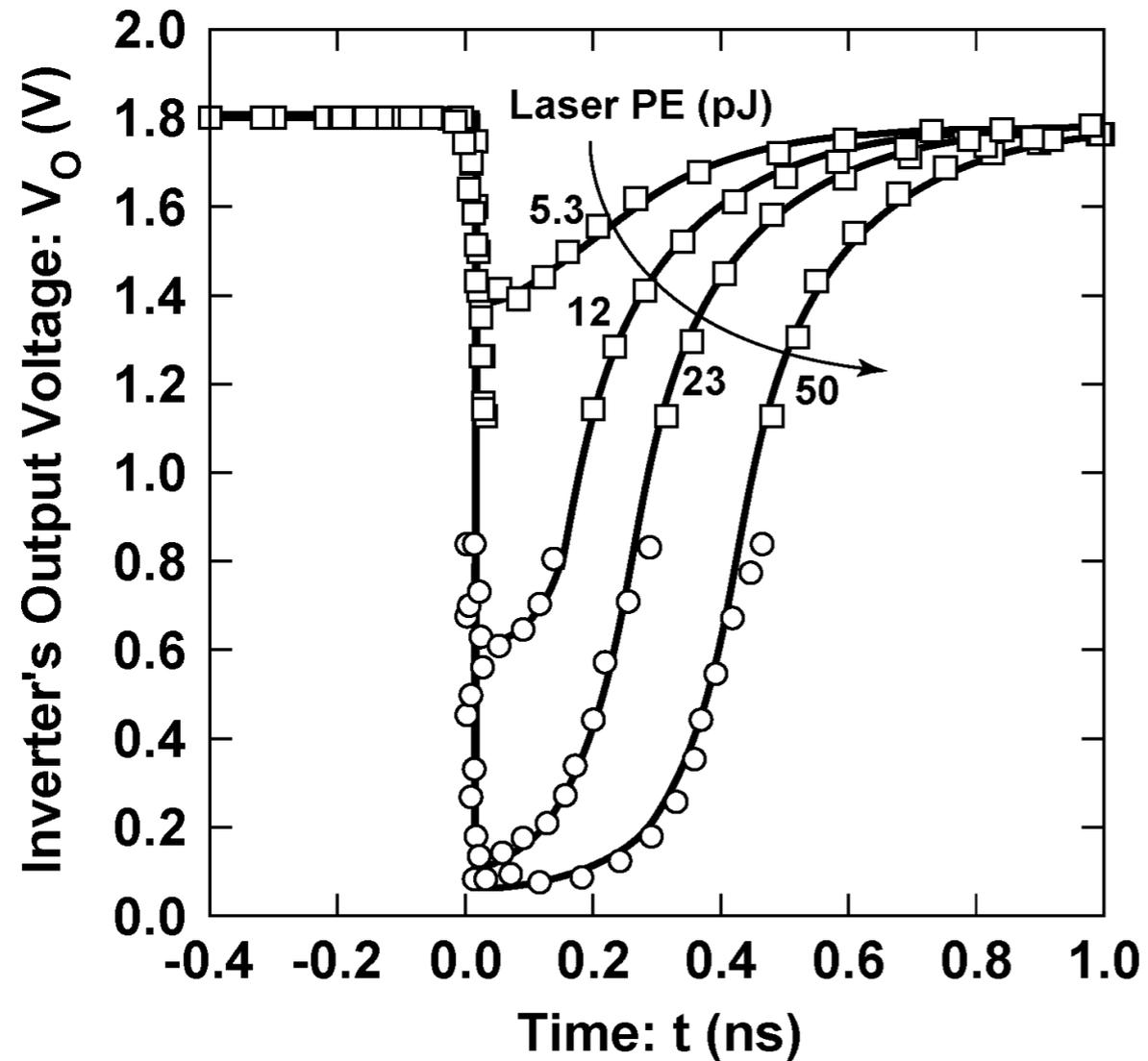
幅以外はどうなんだろう？

# 成果1：全波形観測法

Kobayashi *et al.*, IEEE TNS 55(6) 2008 p2872



# 結果



放射線をpsレーザーで代用

パルス成長の様子の実測に成功

パルスが底を打つ様子や

急峻な電圧低下とゆっくりとした回復

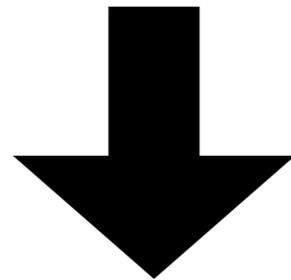
などの特徴を確認

(デバイスシミュレーションでの予想と一致)

# 1. 測定法

簡単な回路で波形を明らかにできる

しかし、他の回路ではどうなるか予想できない

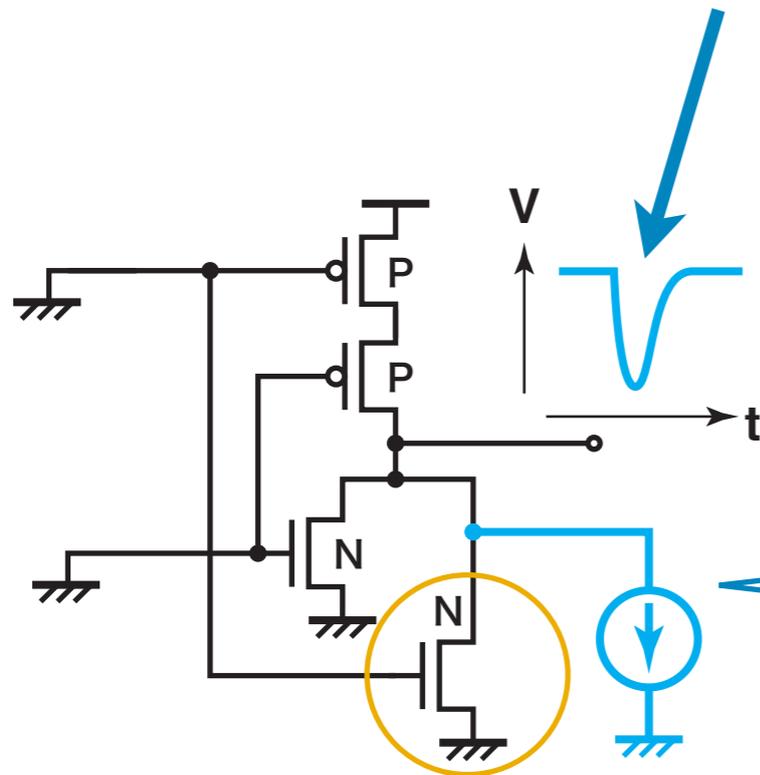


# 2. 推定法

# 既存の推定方法

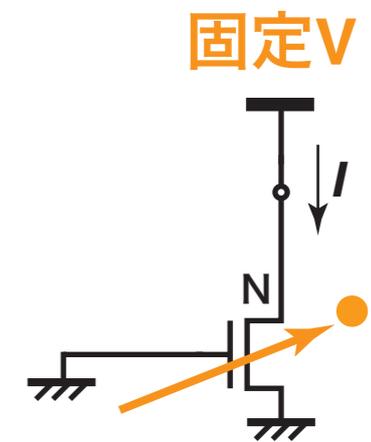
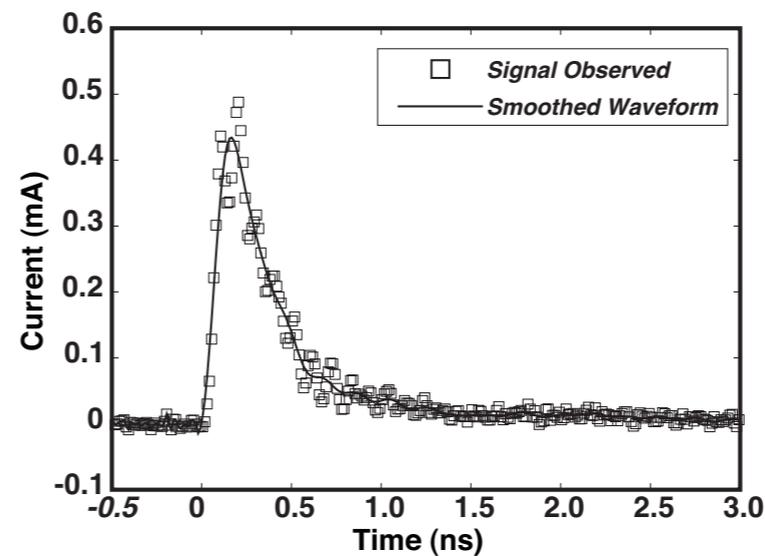
デバイスシミュレーション→計算量が膨大

回路で発生するノイズ（これを知りたい）



スイッチ素子1つ

スイッチ素子1つで発生したノイズ

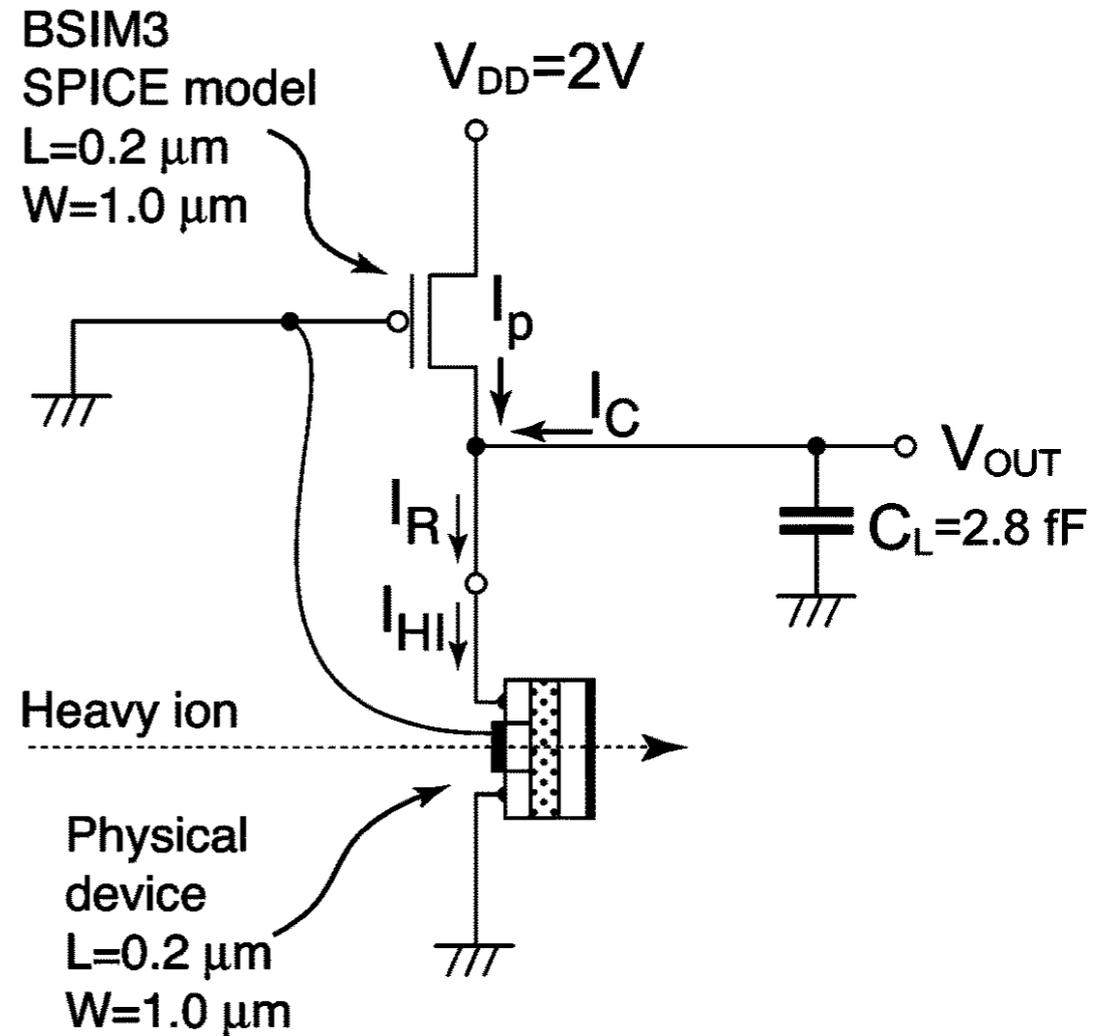
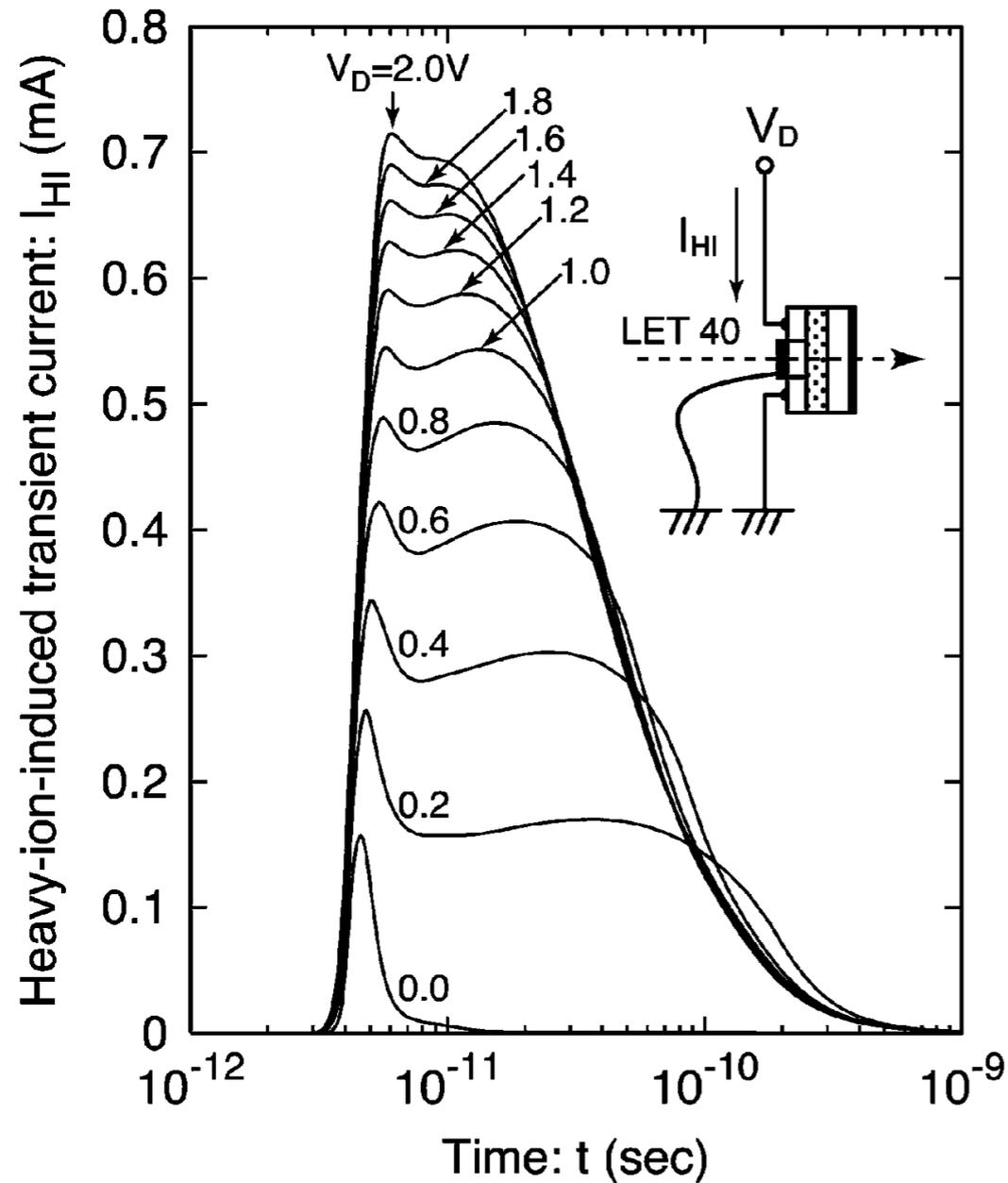


異常波形を出力することがあった

# 成果2：テーブル参照法による推定

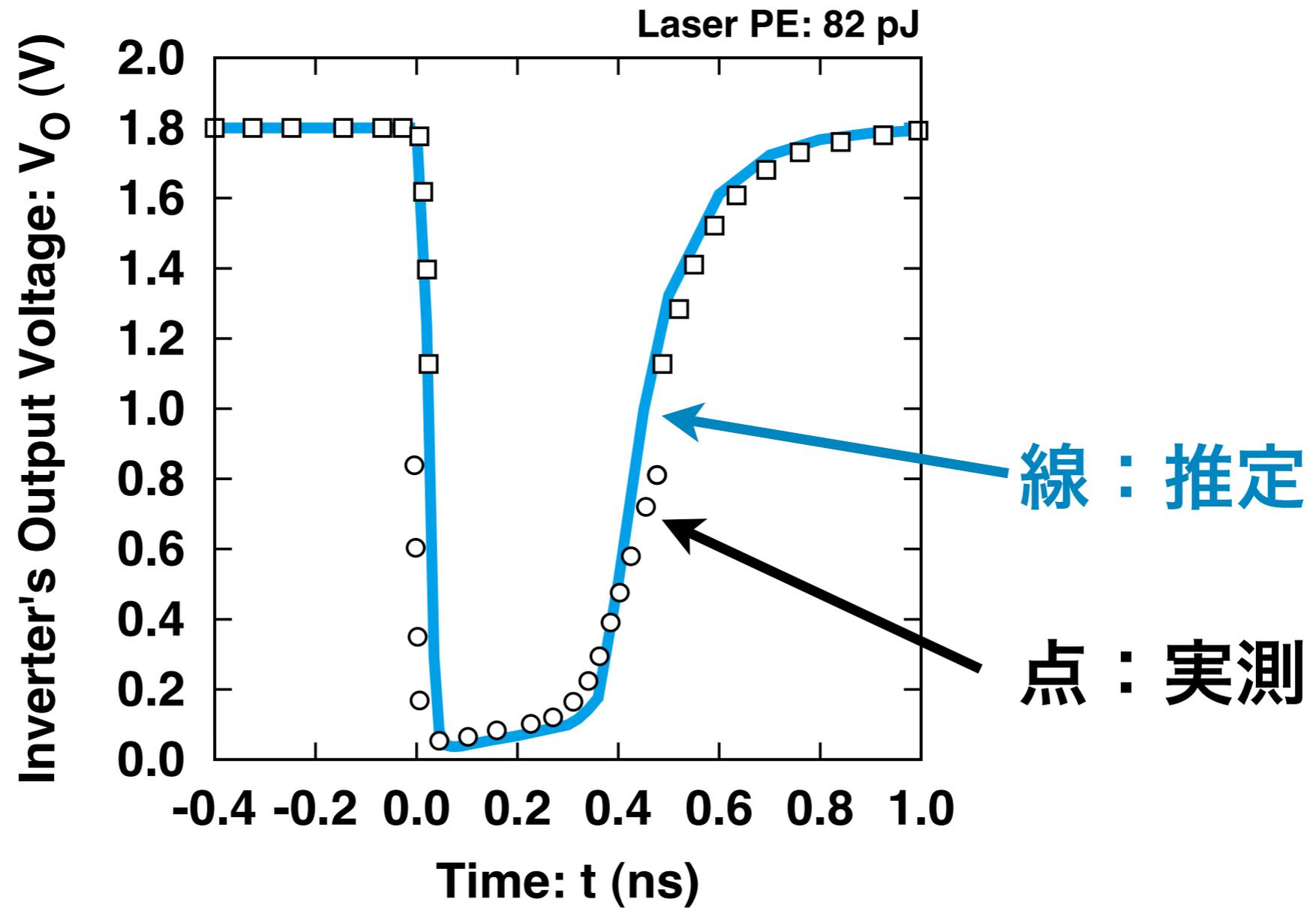
Kobayashi *et al.*, IEEE TNS 54(4) 2007 p1037

## 電圧を変えた応答



各時刻での電流・電圧を表にして保存  
読みとりながら回路方程式を解く

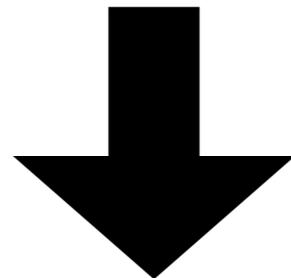
# 結果



## 2. 推定法

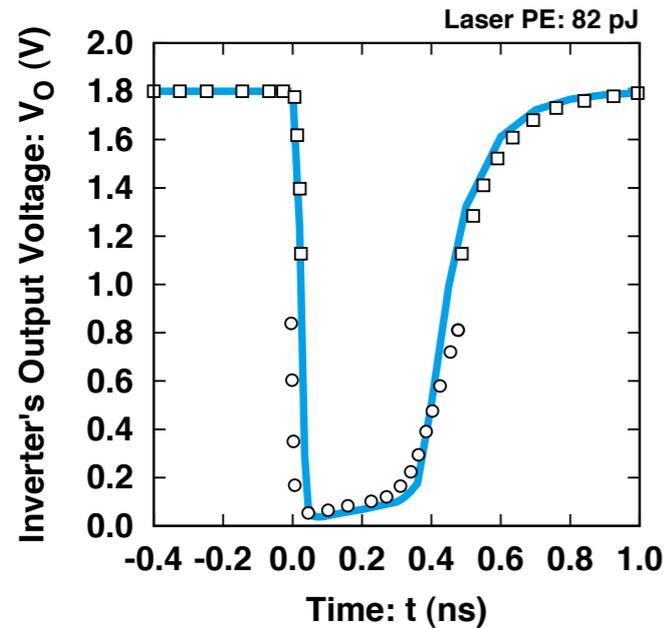
単体スイッチの応答があれば回路の応答を推定できる

放射線衝突の結果であって原因でない  
原因である放射線とパルスとの関係を答えるには？

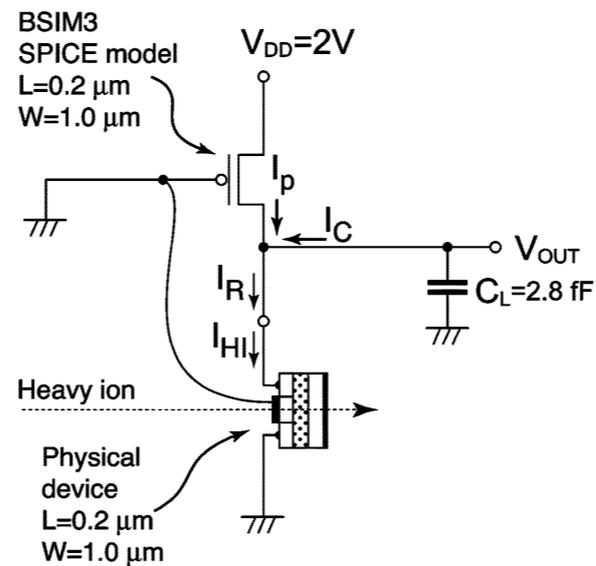


## 3. 理論

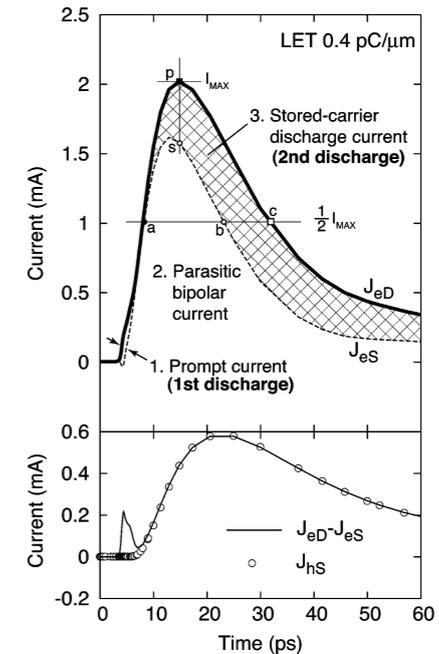
# 理論：物理モデル (FDSOI想定)



底を打ってゆっくり回復



各要素のバランスで決まる



放電過程が重要

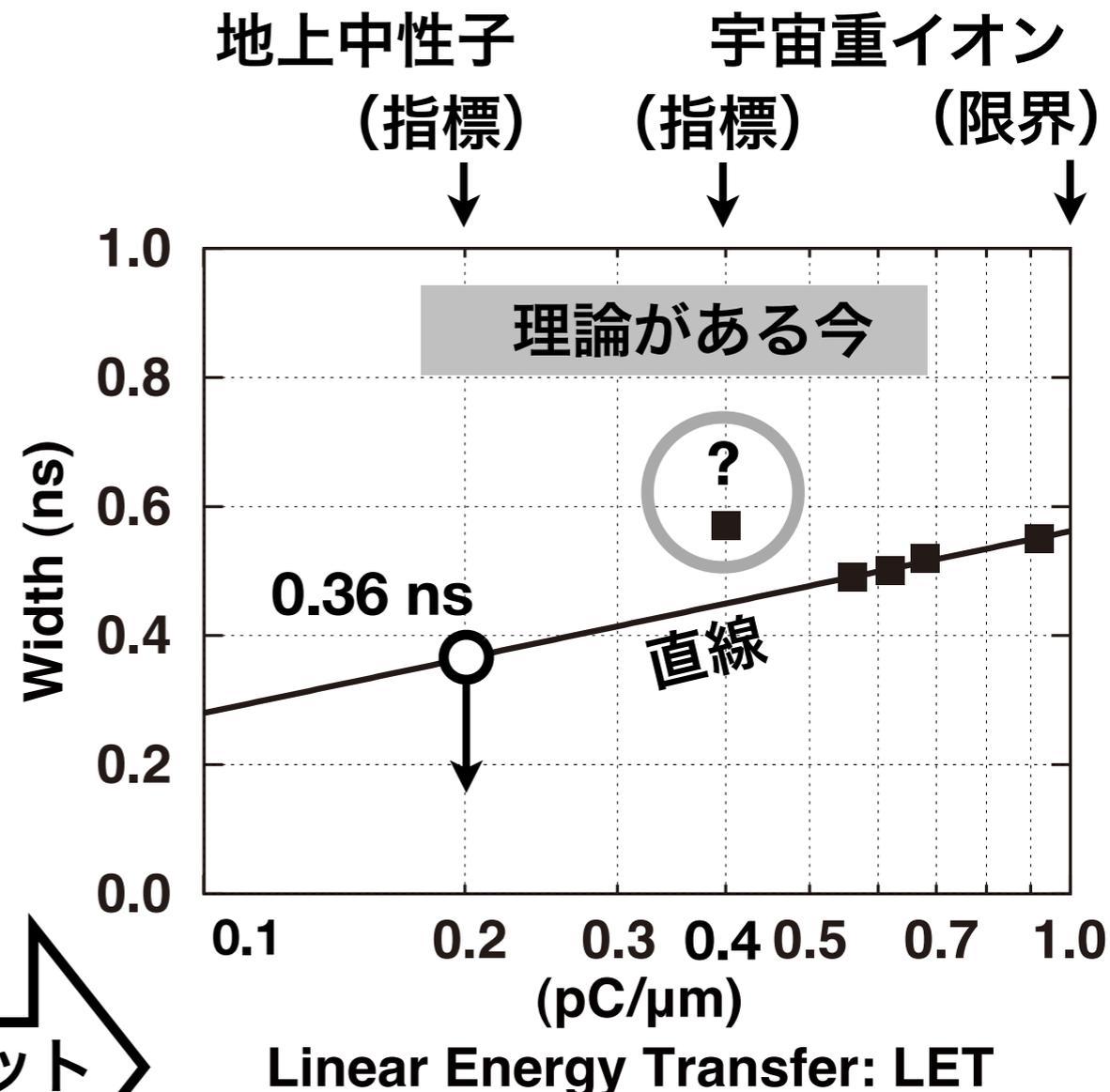
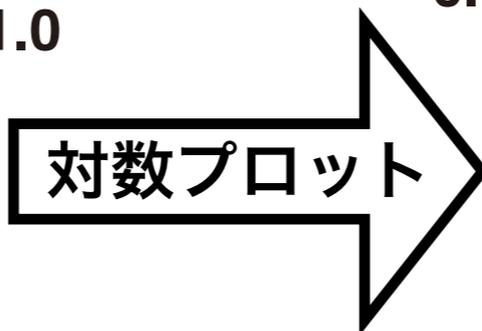
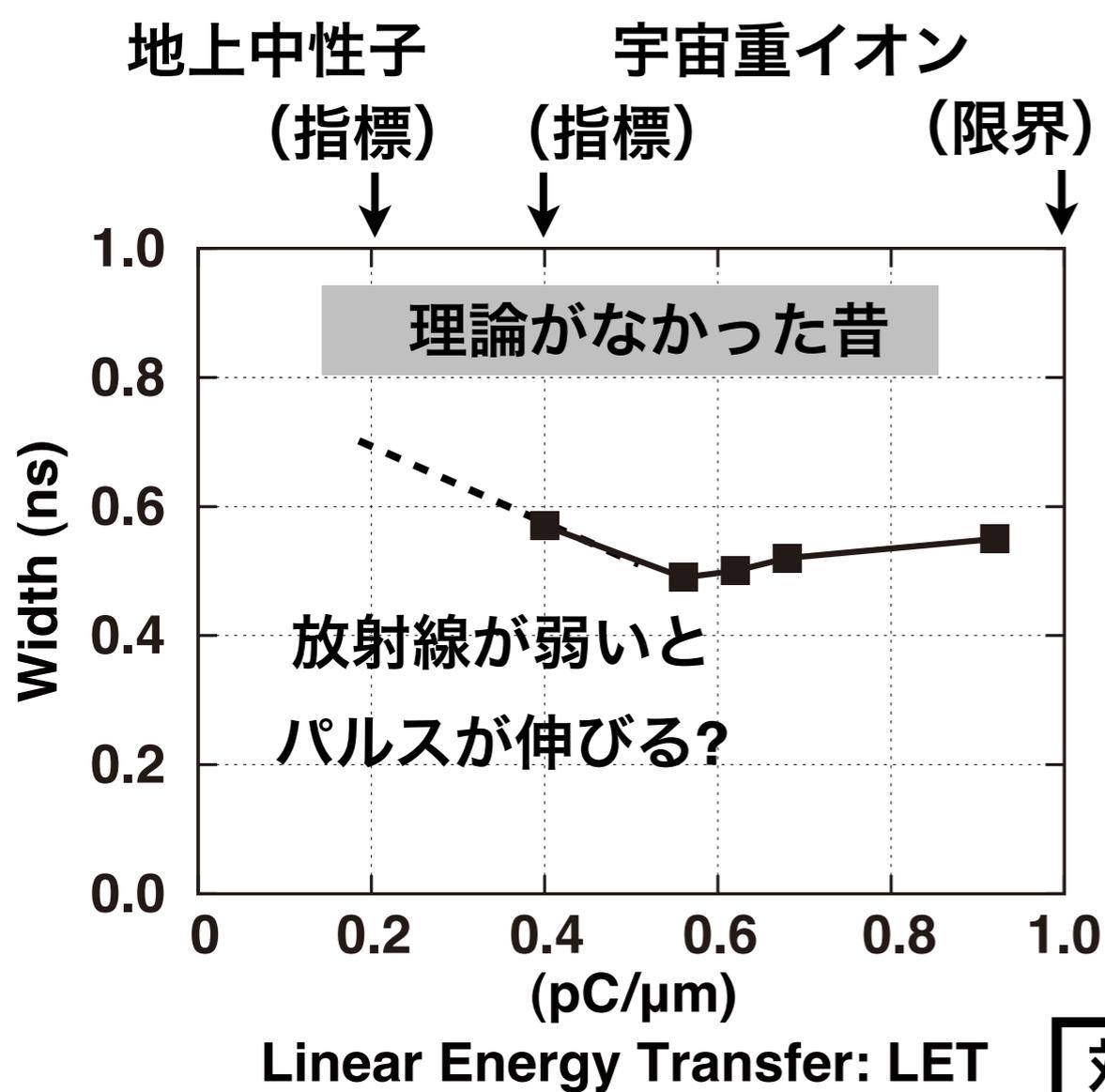
$$t^* = \tau_0 \ln \left( \frac{Q_{\text{DEP}}}{I_{p(\text{ON})} \tau_0} \right) + \tau_1 + \frac{C_L |V_{Tp}|}{I_{p(\text{ON})}}$$

底

回復

$Q_{\text{DEP}} = \text{LET} \times t_{\text{SOI}}$  より  $t^*$  は放射線強度 LET の対数関数と書ける

# 考察できるようになった



- LET 0.4 pC/μmで大きくなるのは疑わしい。測定結果の検討が必要  
データを見直して解析に誤りがあることがわかった。
- 地上中性子環境における平均SET幅は0.36nsより短いと見積ってよいであろう

# この研究の成果

回路における放射線ノイズパルスを解明しモデル化

1. 測定法
2. 推定法
3. 理論

1と2は製造技術に依らない。

3はFDSOI製造技術に注目。ただし、バルク製造技術でも同様の対数関数的な振舞を確認できている。

# 謝辞

本研究は多くの方々に支えによって実施できました。特に下記の方々には実験や議論の際にお力添えをいただきました。お名前を挙げて感謝の意を表します。

**Dr. V. Ferlet-Cavrois (ESA) Dr. D. McMorrow (NRL) Dr. P. Paillet (CEA)**

**新井康夫先生 (KEK) 大野守史様 (産総研)**

**柴田直先生 (東大) 三田吉郎先生 (東大)**

**柳川善光博士 (日立) 牧野高紘博士 (原子力機構)**

**齋藤宏文先生 (宇宙研) 池田博一先生 (宇宙研)**

**廣瀬和之先生 (宇宙研)**

本研究にあたり下記の助成をいただきました。関係各位に謹んで御礼申し上げます。

**文部科学省科学研究費補助金 (若手研究B)**

**日本学術振興会科学研究費補助金 (基盤研究C)**

**宇宙科学振興会国際学会出席旅費支援**

**最後に宇宙科学振興会の皆様**

**並びに本賞選考委員会の皆様に心からの感謝を申し上げます。**