

## 環境推移モデルによるスペースデブリの長期環境推移について

○眞庭知成, 花田俊也 (九州大学), 河本聡美 (JAXA)

増加し続けるスペースデブリを抑制する手段としてデブリ低減策に関する議論が活発化してきている。その手法の例として他の宇宙機を用いて能動的にデブリ除去を行う(Active Debris Removal)や、衛星自身が墓場軌道へ移動して廃棄を行う(Post Mission Disposal)などが考えられている。しかしながら、これら低減策を軌道上で実施するには莫大なコストが予想されることに加え、技術的課題が いまだ山積みしており、実際に低減策を実施する前に長期間にわたる環境推移計算が可能である環境推移モデルを用いて、デブリの増殖抑制効果や他の軌道上物体に対する影響を評価する必要がある。環境推移モデルはデブリ問題を議論していく上で重要なモデルであるため、宇宙開発を進めている主要な国では独自のモデルを保有している。日本では低軌道の環境推移モデルであるLEODEEMと静止軌道の環境推移モデルであるGEODEEMを保有している。本発表ではこれらのモデルを用いてデブリ除去シナリオを行った場合における 長期環境推移の計算結果について議論する。

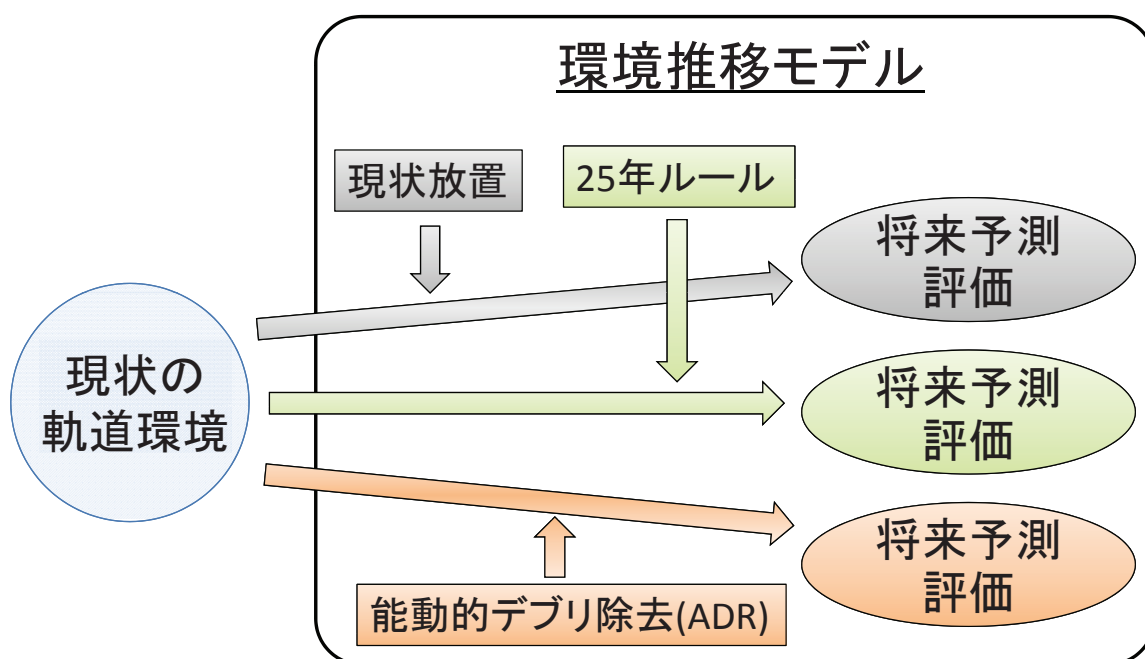
## 環境推移モデルによるスペースデブリの 長期環境推移について

眞庭知成, 花田俊也 (九州大学)  
河本聡美 (JAXA)

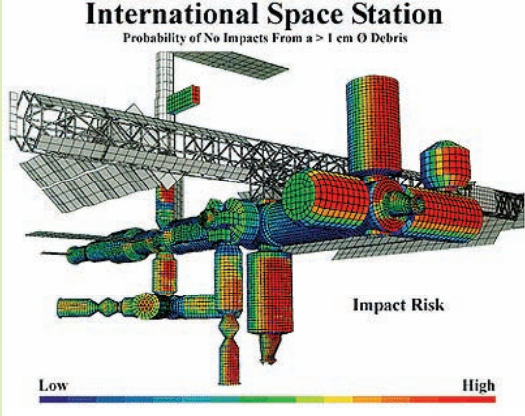
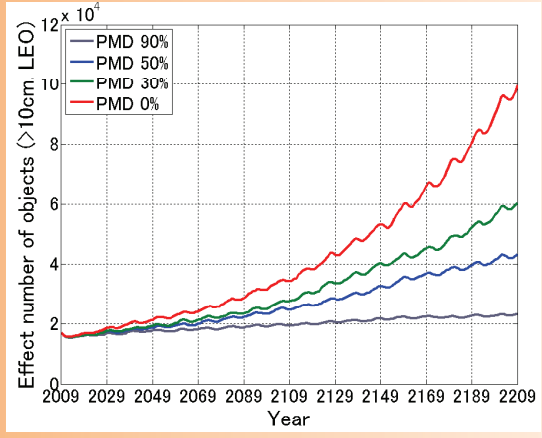
# 目次

- 背景(環境推移モデルの役割)
- 低軌道環境推移モデル(LEODEEM)について
  - 軌道計算
  - 衝突計算
  - 軌道環境データ
- 環境推移モデルの計算例(25年ルール適用)
- まとめ

## 背景：環境推移モデルの役割



# 環境モデルと環境推移モデルの違い

環境モデル	環境推移モデル
 <p><b>International Space Station</b> Probability of No Impacts From <math>a &gt; 1</math> cm O Debris</p> <p>Impact Risk</p> <p>Low <span style="color: red;">High</span></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• デブリ衝突リスクの評価</li> <li>• 宇宙機設計への適用</li> </ul>	 <p>Effect number of objects (<math>&gt; 10</math>cm LEO) <math>\times 10^4</math></p> <p>Year</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 軌道環境の将来予測</li> <li>• デブリ低減策の評価</li> </ul>

2010/12/17

第4回スペースデブリワークショップ

4

# 各機関が保有する環境推移モデル

国際機関間スペースデブリ調整委員会 (IADC)						
機関						
モデル	LEGEND	DELTA	KSCPROP	LEODEEM	SDM	DAMAGE



国際的にデブリ低減策を議論する際に各機関  
**独自のモデル**を保有している事は重要

2010/12/17

第4回スペースデブリワークショップ

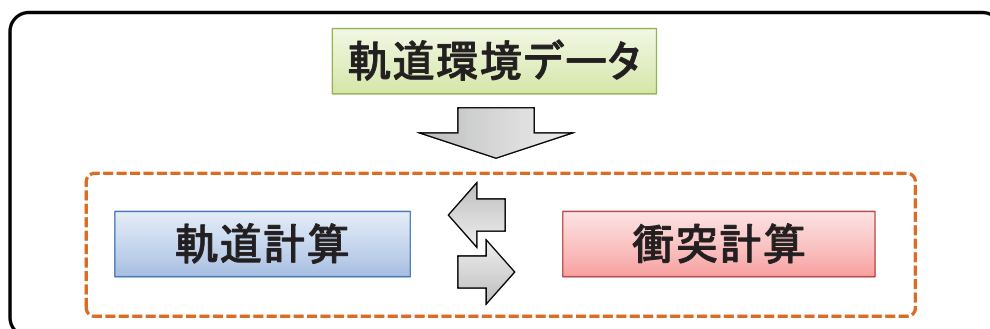
5

# 日本の環境推移モデルについて

## 低軌道環境推移モデル:LEODEEM

- JAXAと九州大学が共同で開発したデブリ環境推移モデル
- 近地点高度2000 km以下の軌道環境推移を予測
- すべての物体を個別に取り扱う

### 計算の流れ



2010/12/17

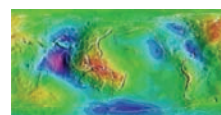
第4回スペースデブリワークショップ

6

## 軌道計算

### ● 考慮する摂動

- 大気抵抗による摂動
  - Jacchia-Roberts 密度モデル
- 地球の非球体性による摂動
  - $J_2, J_3, J_4$  摂動
- 第3天体による摂動
  - 太陽 (VSOP87より位置計算)
  - 月 (ELP2000/82Bより位置計算)
- 太陽輻射圧による摂動



### 軌道要素を5日ステップで軌道計算を行う

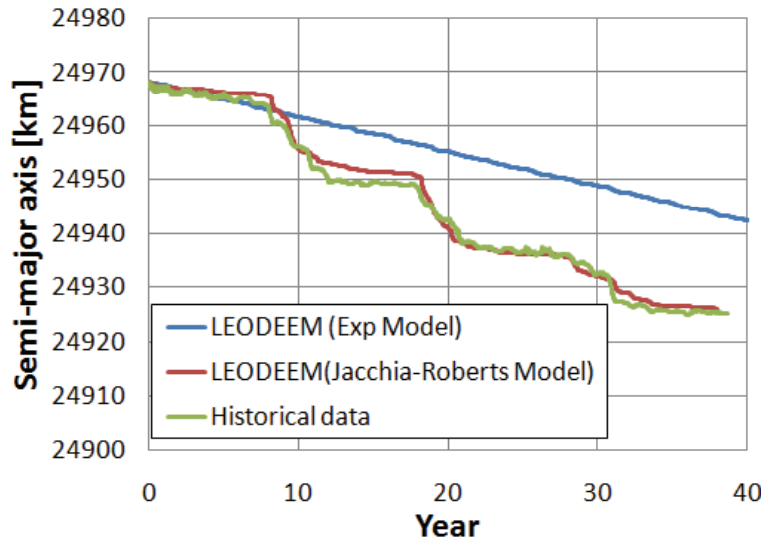
2010/12/17

第4回スペースデブリワークショップ

7

# 軌道計算 (テストケース: Atlas Centaur R/B)

初期条件	
a [km]	24968.11
e [-]	0.7208
i [deg]	28.19
RAAN [deg]	304.93
AoP [deg]	180.61
M [deg]	177.49
A/m [m <sup>2</sup> /kg]	$2.3 \times 10^{-2}$



Atlas Centaur R/B 高度履歴

# 衝突計算

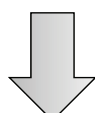
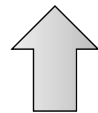
## 衝突判定計算

総当たりで2物体の軌道から衝突率を計算

- 遠近地点フィルタ
- 軌道間最短距離フィルタ

← 乱数と比較

新規に発生する  
デブリデータ



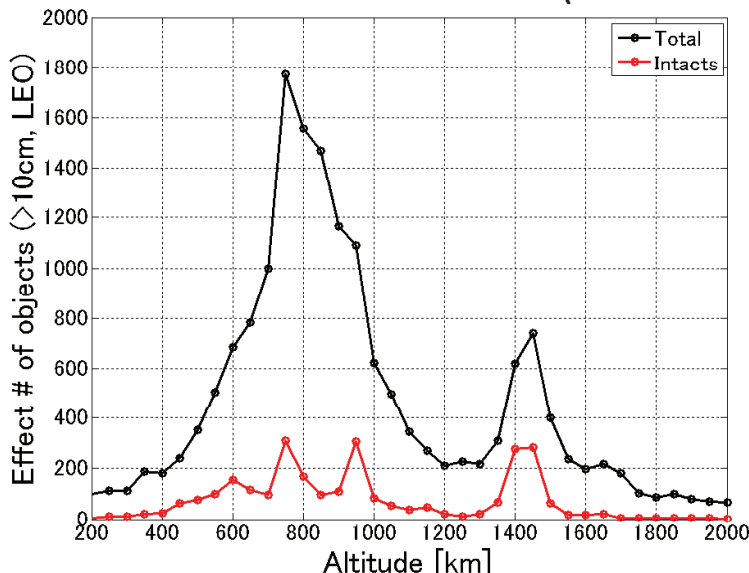
衝突した物体のデータ  
(軌道, 質量等)

## NASA標準破砕モデル

- サイズ分布
- 面積質量比分布
- 放出速度分布

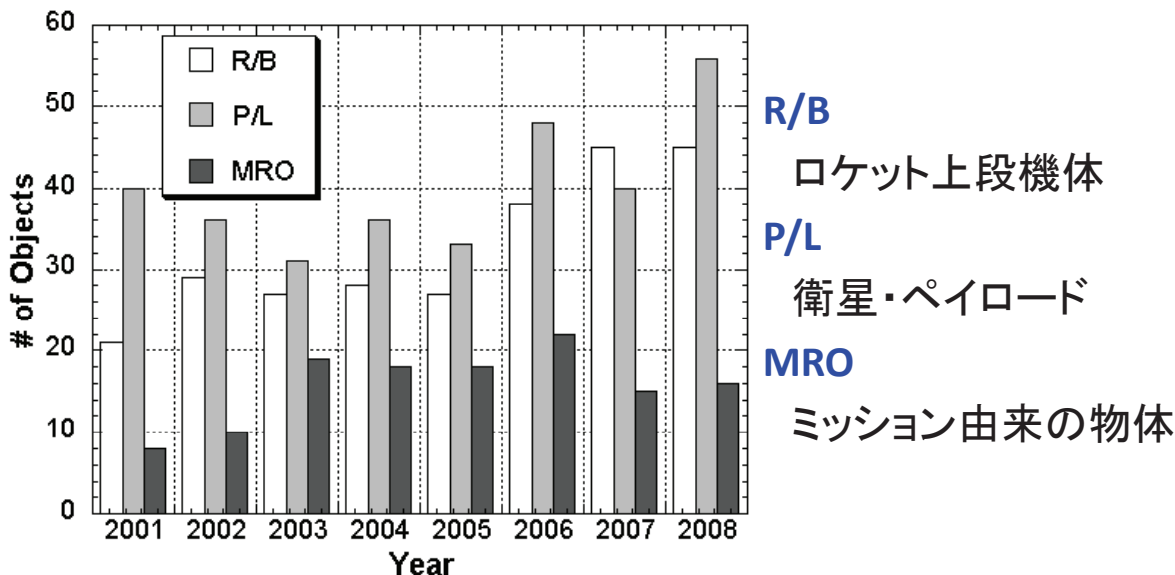
# 軌道環境データ(初期値)

2009年5月1日の軌道環境を模擬した  
 サイズ10 cm以上のデブリデータ (IADCにより配布)



# 軌道環境データ(Insertion)

2001-2008年の打ち上げデータを繰り返し使用する



# 環境推移モデルによる計算

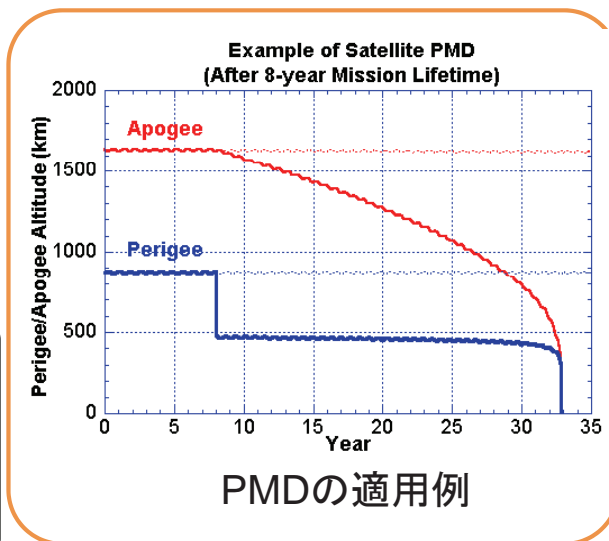
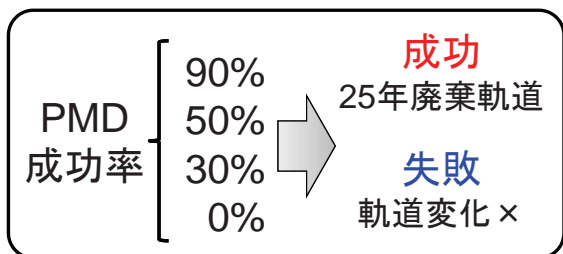
## Post Mission Disposal(PMD, 25年ルール)の効果

### 計算条件

#### 新規打ち上げ物体

 S/C: ミッション期間 8年

 R/B: ミッション期間 0年

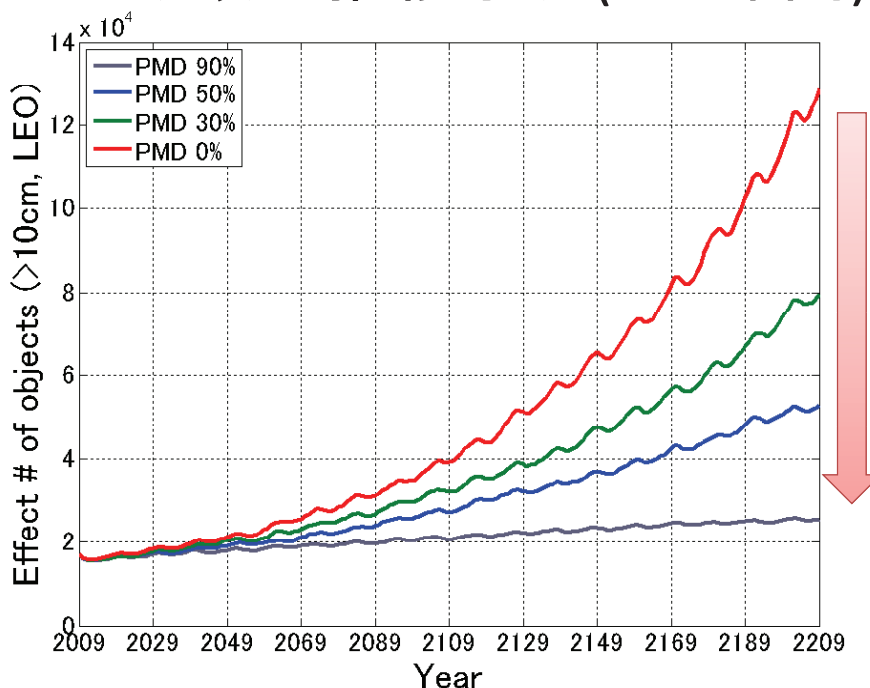


2010/12/17

第4回スペースデブリワークショップ

12

## デブリ数の推移予測(200年間)

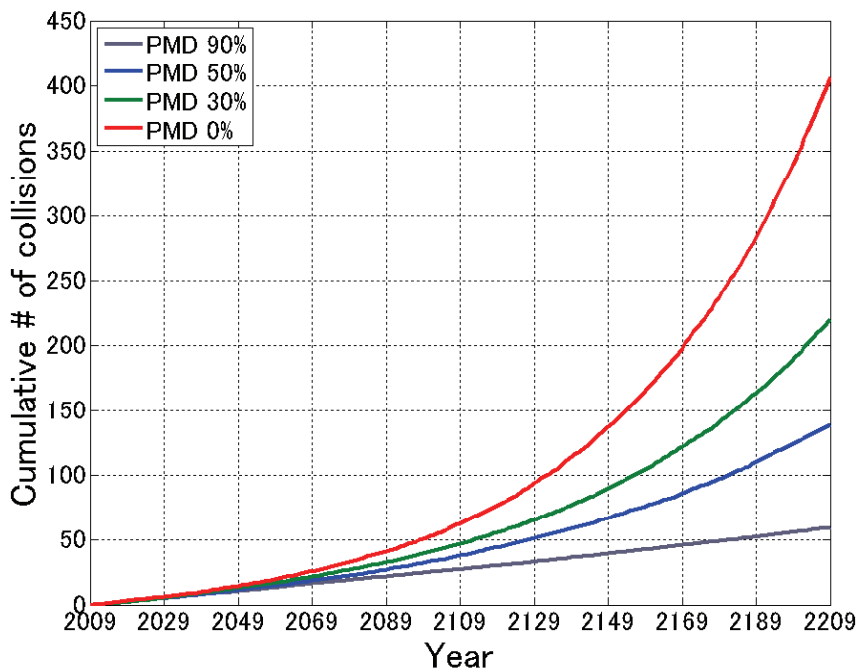


2010/12/17

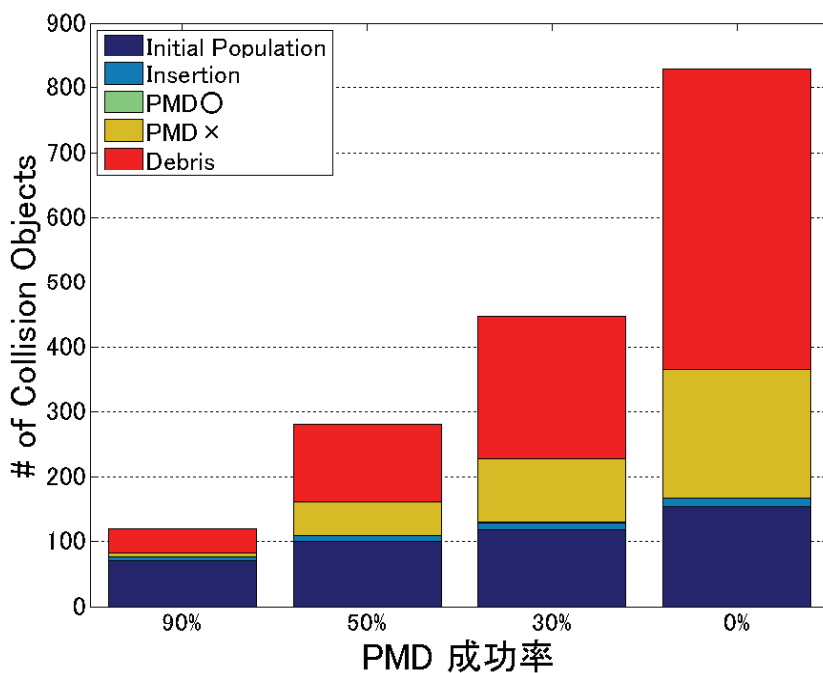
第4回スペースデブリワークショップ

13

# デブリの累積衝突回数予測(200年間)

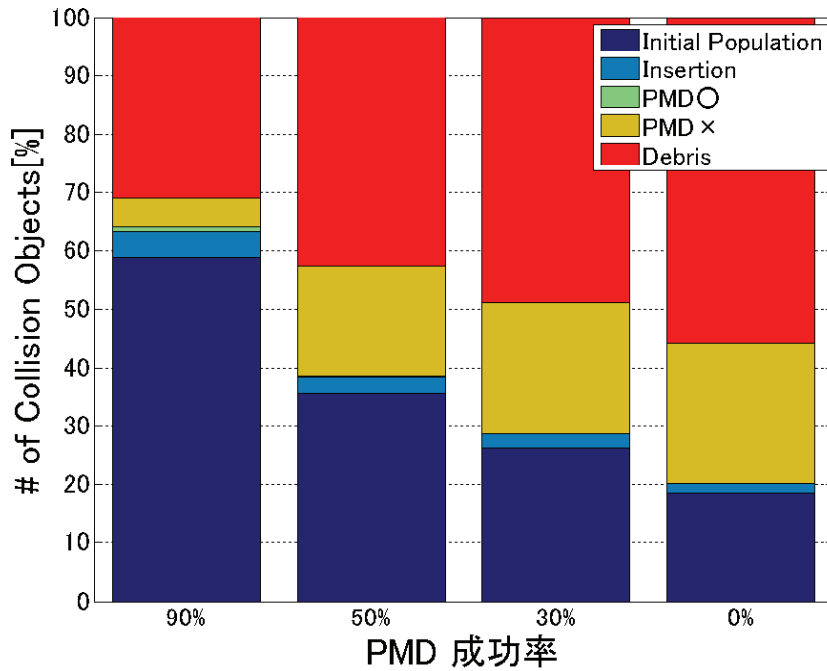


# 衝突した物体の種類

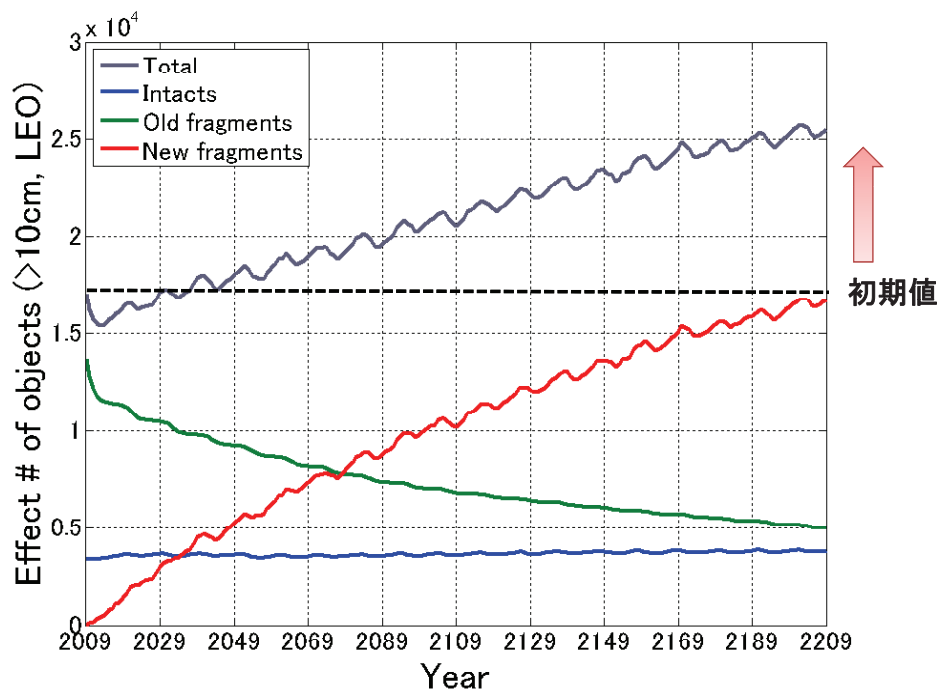




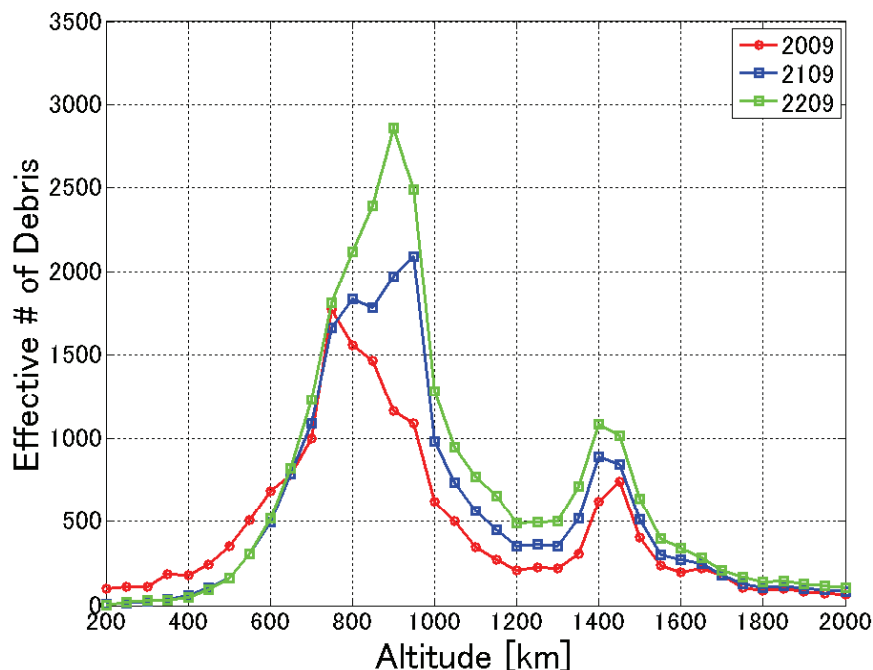
## 衝突した物体の種類



## デブリ数の推移(PMD 90%)



## 高度別デブリ密度(PMD 90%)



2010/12/17

第4回スペースデブリワークショップ

18

## まとめ

- 環境推移モデルLEODEEMの有用性について説明
- デブリ低減策の効果を計算
  - ✓ Post Mission Disposalによりデブリの増加を抑制できるが増加は止まらない
  - ✓ 環境保全のためには積極的にデブリを除去をするActive Debris Removalが必要

2010/12/17

第4回スペースデブリワークショップ

19