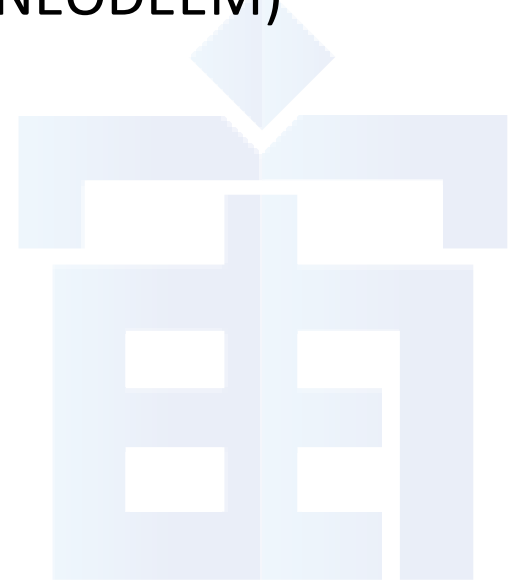


宇宙天気に伴うスペースデブリ 環境推移の長期変動と予測

阿部修司，花田俊也，吉川顕正（九州大学），
平井隆之，河本聡美（宇宙航空研究開発機構）

Outline

- Introduction
- Method and input parameters
 - Space debris model of Kyushu Univ. (NEODEEM)
 - Atmospheric empirical model
 - Space weather activity parameters
- Results
- Discussion
- Summary



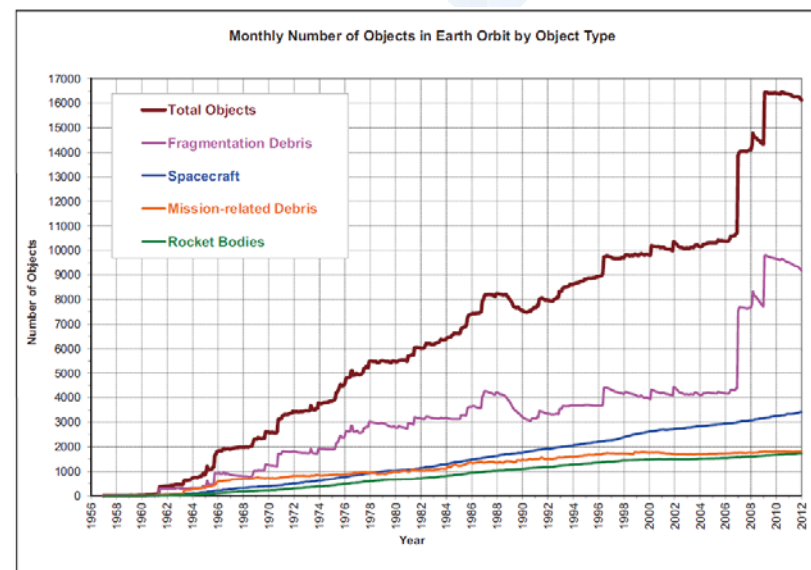
ICSWSE

Space Debris

スペースデブリ: 宇宙ゴミとも呼ばれる、宇宙空間に存在する不要な人工物体の総称.

- 運用期間が終了した衛星
- ロケットの上段機体
- それらが軌道上で爆発することにより発生した破片
- はがれた塗料 など

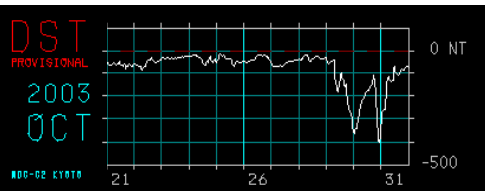
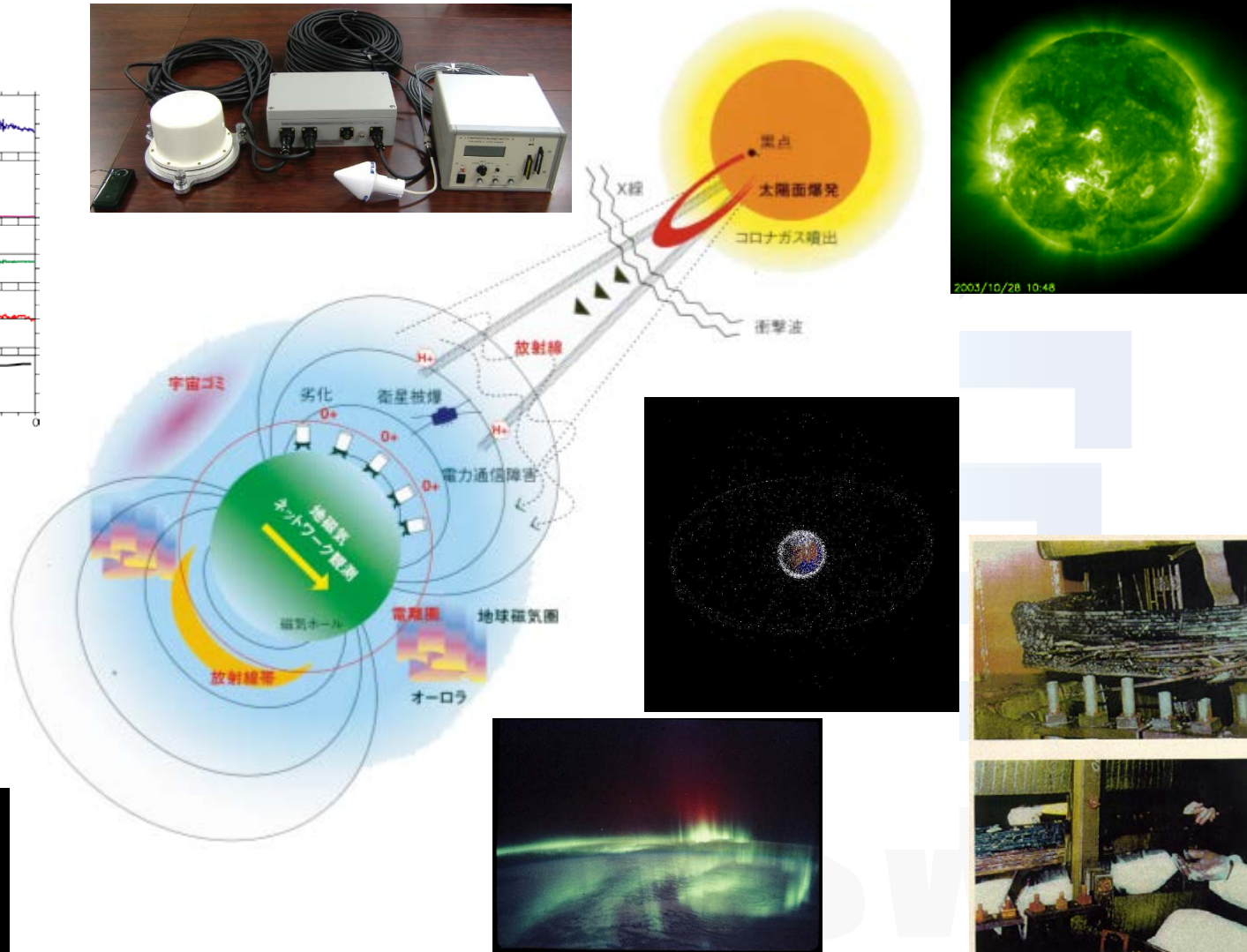
10センチメートル以上の大きさのスペースデブリは29000個以上が地球周辺に存在し、また、1ミリ以下のスペースデブリはその総数が1億7千万以上にもものぼる(欧州宇宙機関が2013年7月に発表した情報による)



Monthly Number of Cataloged Objects in Earth Orbit by Object Type: This chart displays a summary of all objects in Earth orbit officially cataloged by the U.S. Space Surveillance Network. "Fragmentation debris" includes satellite breakup debris and anomalous event debris, while "mission-related debris" includes all objects dispensed, separated, or released as part of the planned mission.

NASA, 2012.

http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/Clean_Space/How_many_space_debris_objects_are_currently_in_orbit



Space Debris and Space Weather

Example of Satellite trouble caused by Space weather

1989/03/17	CS-3b 衛星(さくら) 障害
1994/01/20	Anik E1, Anik E2 (Canada) 太陽活動により姿勢制御に不具合
1997/01/11	Telstar 401(USA)磁気嵐の影響により回復不能な障害(現在もGEO軌道)
1997/04/11	Tempo 2(USA) 太陽フレアにより中継器と太陽電池パネルに障害
2000/04/09	BrasilSat A2 (Brazil)TWTA(進行波管増幅器)に障害
2000/07/17	Astro-D(あすか) 太陽フレアによる大気膨張の影響を受けた姿勢制御トラブルでセーフモード移行。翌 2001/03/02 大気圏再突入
2003/10/24	ADEOS-II(みどり2) 障害(地磁気活動による帯電の可能性)
2003/10/28	Mars Odyssey(USA) MARIE radiation experiment太陽高エネルギー粒子による障害
2003/10/28	DRTS(こだま) 太陽高エネルギー粒子の影響でセーフモードへ移行
2006/12/06	GPS receiver が太陽フレアに伴う強い電波バーストにより混信障害
2010/04/05	Galaxy15(USA)オーロラ活動に伴う帯電の影響によりコントロール障害
2012/03/07	Venus Express (ESA)太陽高エネルギー粒子の影響によりstar tracker障害
2012/03/07	SkyTerra1(USA)太陽高エネルギー粒子の影響でセーフモードへ移行

<http://www2.nict.go.jp/aeri/swe/swx/swcenter/hazards.html> より一部抜粋、加筆

Objectives

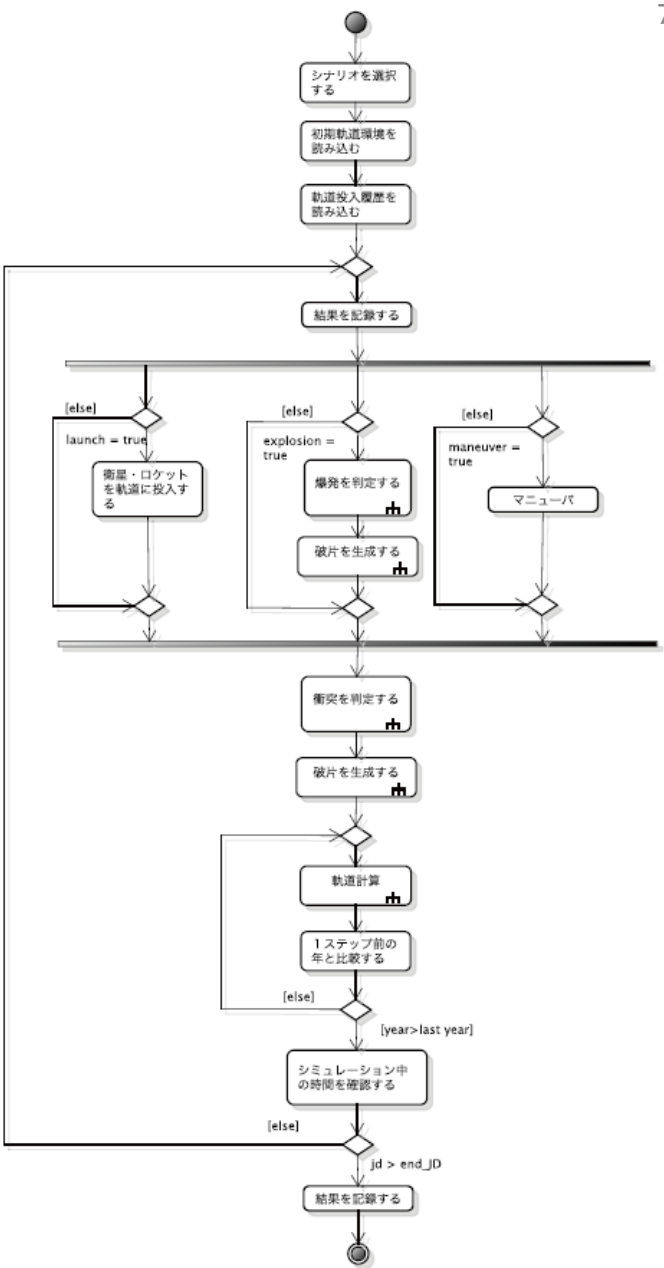
- スペースデブリの増加は、人類の安全安心な宇宙開発を妨げるため、適切な時期までに適切なデブリ低減対策をとることが求められている。
- 上記を評価するためには、現在の地球周辺のスペースデブリ環境を再現し、かつ、今後の打ち上げや行われたデブリ低減対策、宇宙環境の変化を加味した将来の軌道環境を予測するスペースデブリ環境推移モデルが必要。
- 太陽活動は約11年の周期をもち、その活動度は各周期によって異なっている。よって、環境予測モデルにおいて、宇宙天気の影響を考慮し、平均的な太陽活動度での状況のみならず、低調な、あるいは活発な太陽活動が数周期に渡って継続した場合の状況を考える。

Space debris model of Kyushu Univ. (NEODEEM)

地球周回全領域デブリ環境推移モデル

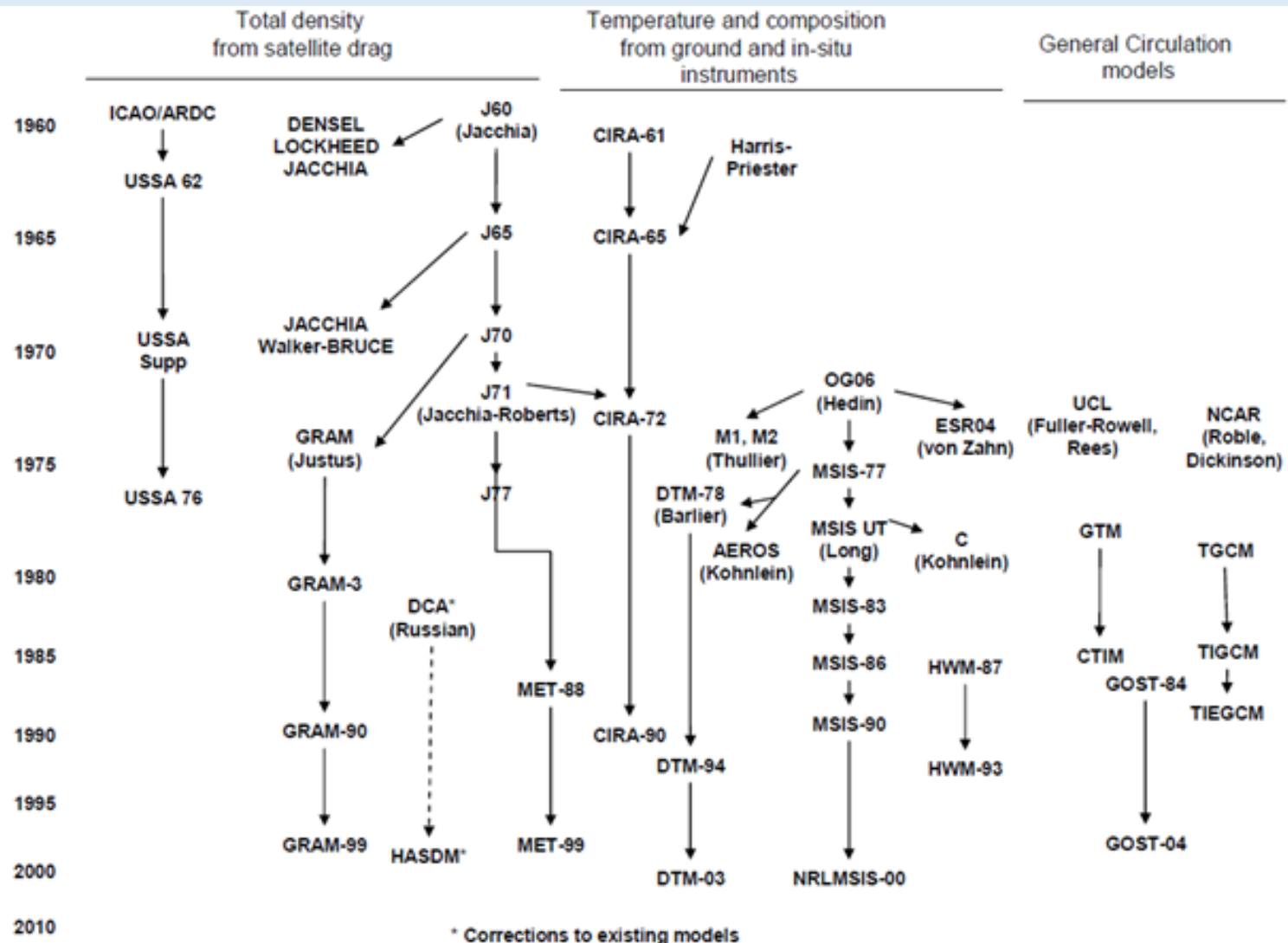
NEODEEM (Near-Earth Orbital Debris Environment Evolutionary Model)

- 九州大学とJAXAが共同で開発したスペースデブリ環境予測モデル
- 地球周回全領域(静止軌道-静止トランスファ軌道-中軌道-低軌道)を同一に取り扱う
- 多くのシミュレーションシナリオ対応
 - 現況予測
 - 未来予測
 - 指定した物体の累積衝突率追跡
 - 条件に従った除去対象デブリ決定
 - 軌道計算
- 軌道変化の摂動力
 - 大気抵抗
 - 重力ポテンシャル
 - 太陽放射圧 など



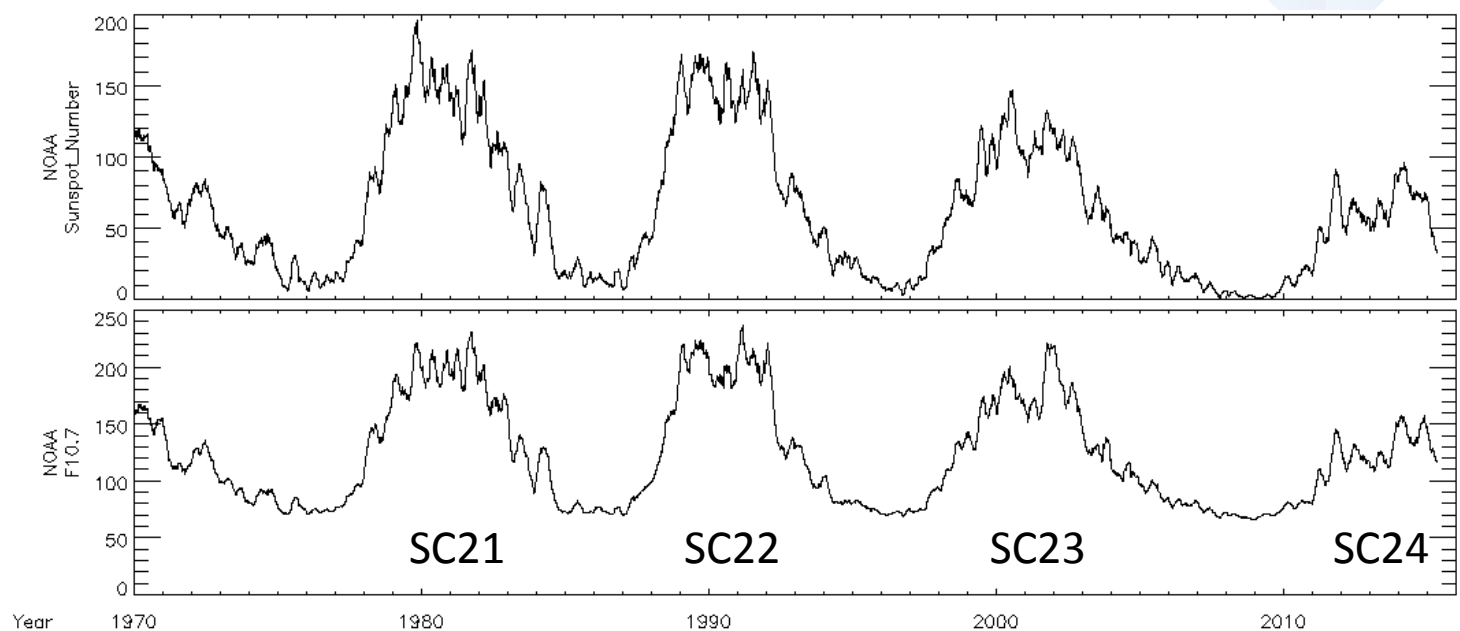
NEODEEM flowchart(Ariyoshi, 2012)

Atmospheric empirical models



F10.7

F10.7値は、太陽から放射される波長10.7cmの電波の周波数当たりの流束。単位はSFU(solar flux unit、1 SFU = 10^{-22} W m⁻² Hz⁻¹)。太陽活動全体の指標のひとつとして広く利用される。



Kp, ap, Ap index

サブオーロラ帯でのUT3時間の地磁気擾乱の振幅を対数的に28段階で (0,0+,1-...,9-,9) 表現したもの。13観測点のK指数(UT3時間の地磁気擾乱の大きさを指数化したもの)を地方や季節ごとのばらつきを補正したうえで平均化して算出する。地磁気の擾乱の程度を表す指数として広く使われる。

これを下記テーブルに従い線形的にしたものがap指数

Kp	0o	0+	1-	1o	1+	2-	2o	2+	3-	3o	3+	4-	4o	4+
ap	0	2	3	4	5	6	7	9	12	15	18	22	27	32
Kp	5-	5o	5+	6-	6o	6+	7-	7o	7+	8-	8o	8+	9-	9o
ap	39	48	56	67	80	94	111	132	154	179	207	236	300	400

ap指数1日分(8個)の平均値がAp指数

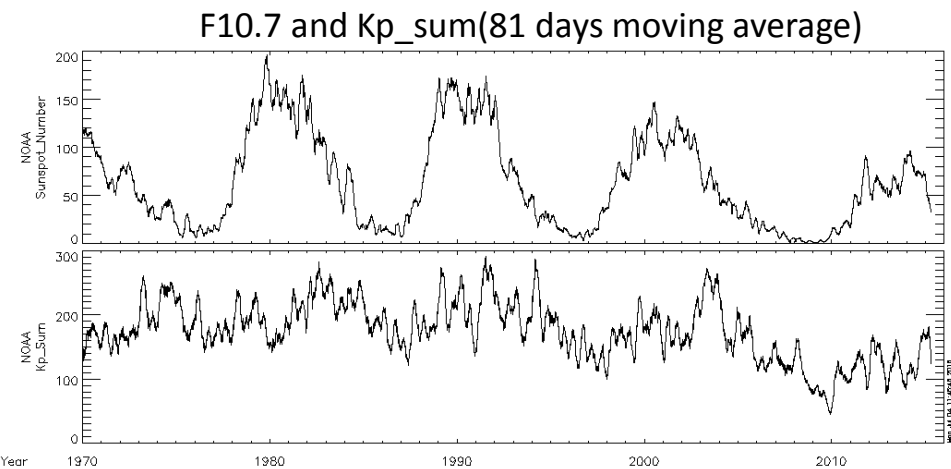


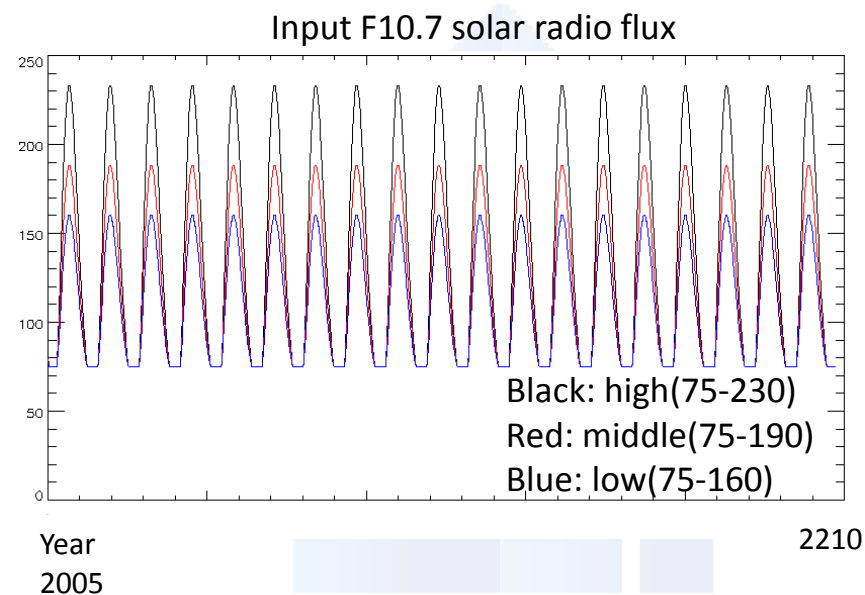
Figure 7. The Kp network in 1988.

Menvielle et al., 1991

NEODEEM parameters

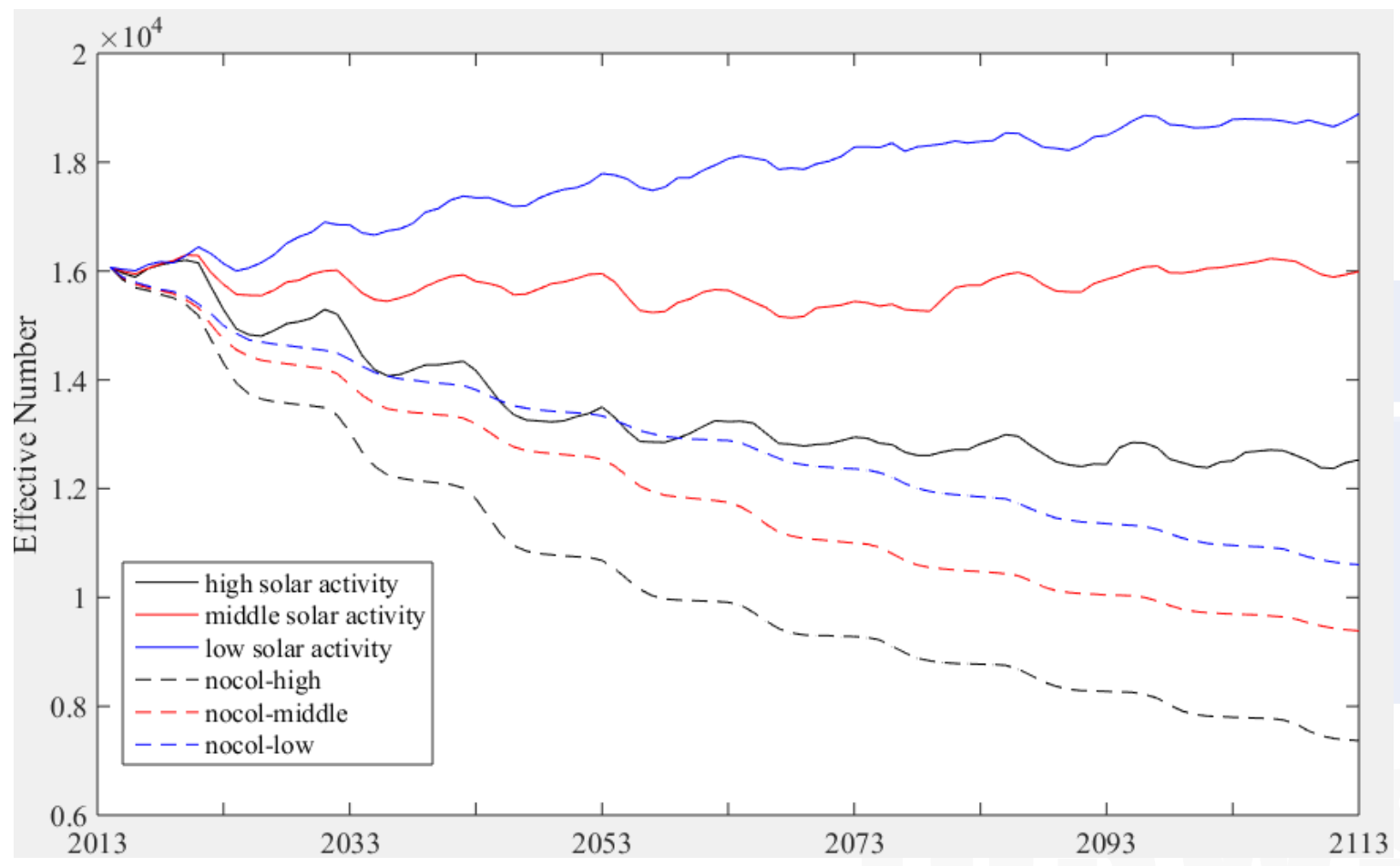
Evaluation of contributions of space weather disturbances as solar flux parameter

- 未来予測シナリオ
- 衝突によるデブリ生成を考慮。新規打ち上げ、爆発、PMD等は考えない
- 大気密度モデル=Jacchia-Roberts
- 3種類の太陽活動度=F10.7
 - 高い太陽活動度が継続
 - 中程度の太陽活動度が継続
 - 低い太陽活動度が継続
- 地磁気指数Kp = 4
- 100年間のシミュレーション(2013/01/01-2112/12/31)
- 50回のMonte Carloシミュレーション



ICSWSE

Results



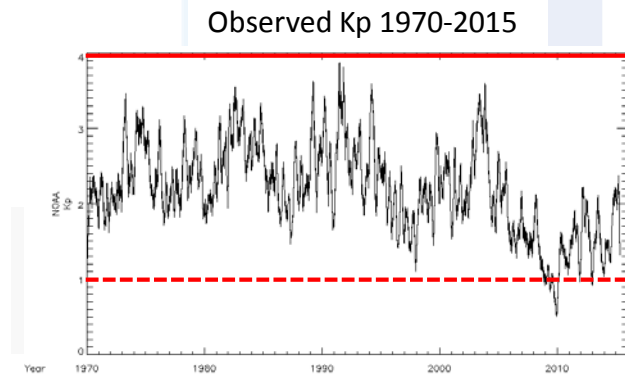
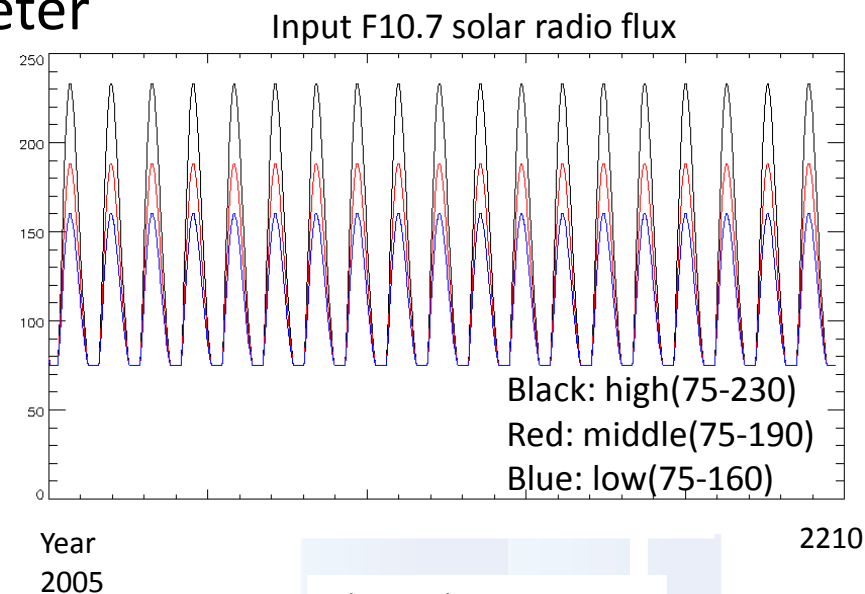
Discussion

- 新たな宇宙機投入がないとした場合でも
 - 太陽活動が高い場合(第20, 21太陽周期程度)は、低軌道の宇宙デブリ数はわずかに減少。
 - 太陽活動が低い場合(第24太陽周期程度)は、衝突・破砕による宇宙デブリ生成が、大気抵抗によるデブリ消失を上回る可能性を示唆。
- 本シミュレーション結果は、地磁気活動度について高めに設定($K_p=4$)している。次に、地磁気活動度の変化が長期の宇宙デブリ環境推移にどの程度の影響を及ぼすか調査。

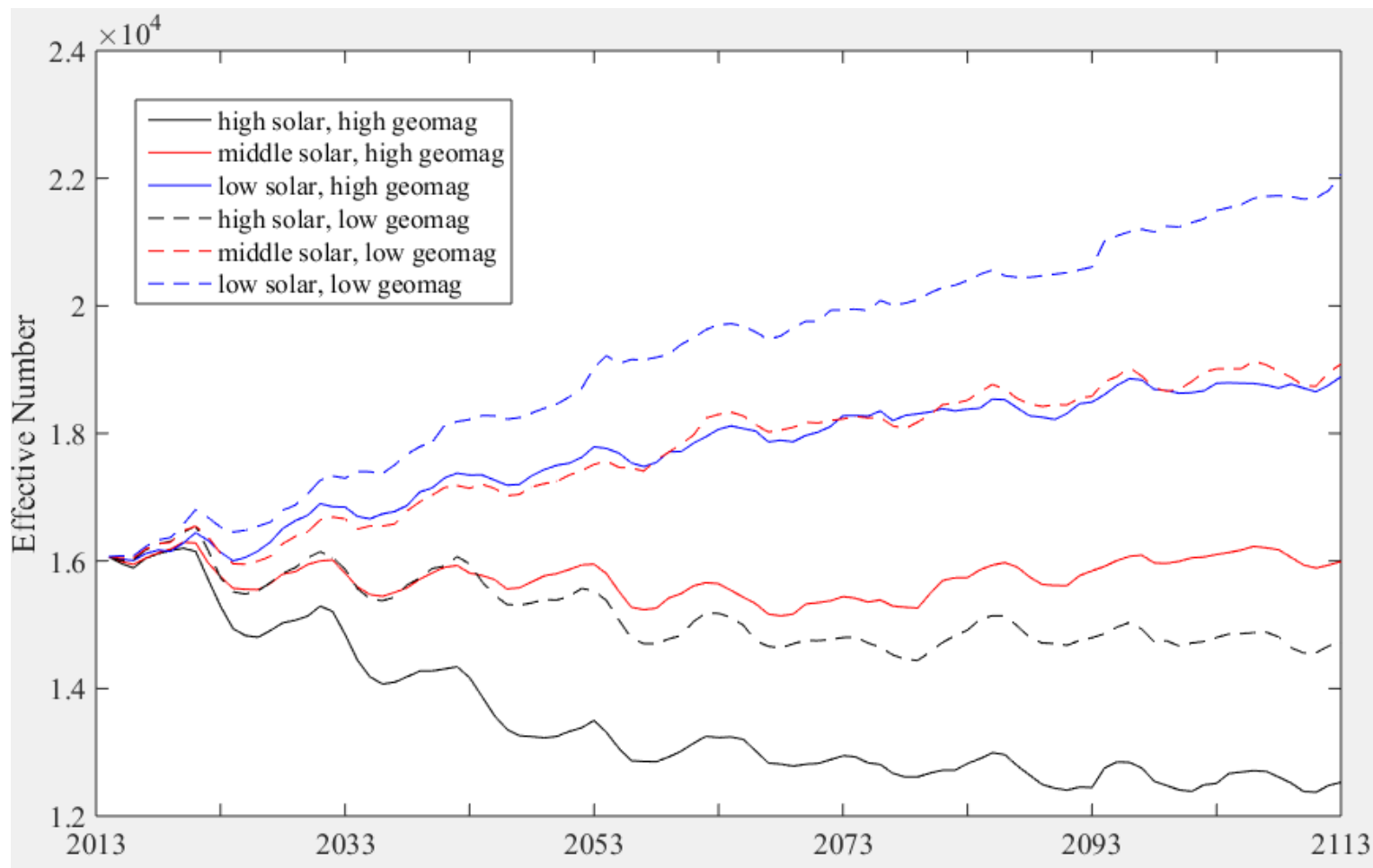
NEODEEM parameters

Evaluation of contributions of space weather disturbances as solar flux and geomagnetic activity parameter

- 未来予測シナリオ
- 衝突によるデブリ生成を考慮。新規打ち上げ、爆発、PMD等は考えない
- 大気密度モデル=Jacchia-Roberts
- 3種類の太陽活動度=F10.7
 - 高い太陽活動度が継続
 - 中程度の太陽活動度が継続
 - 低い太陽活動度が継続
- 2種の地磁気指数Kp = 1、4
- 100年間のシミュレーション(2013/01/01-2112/12/31)
- 50回のMonte Carloシミュレーション



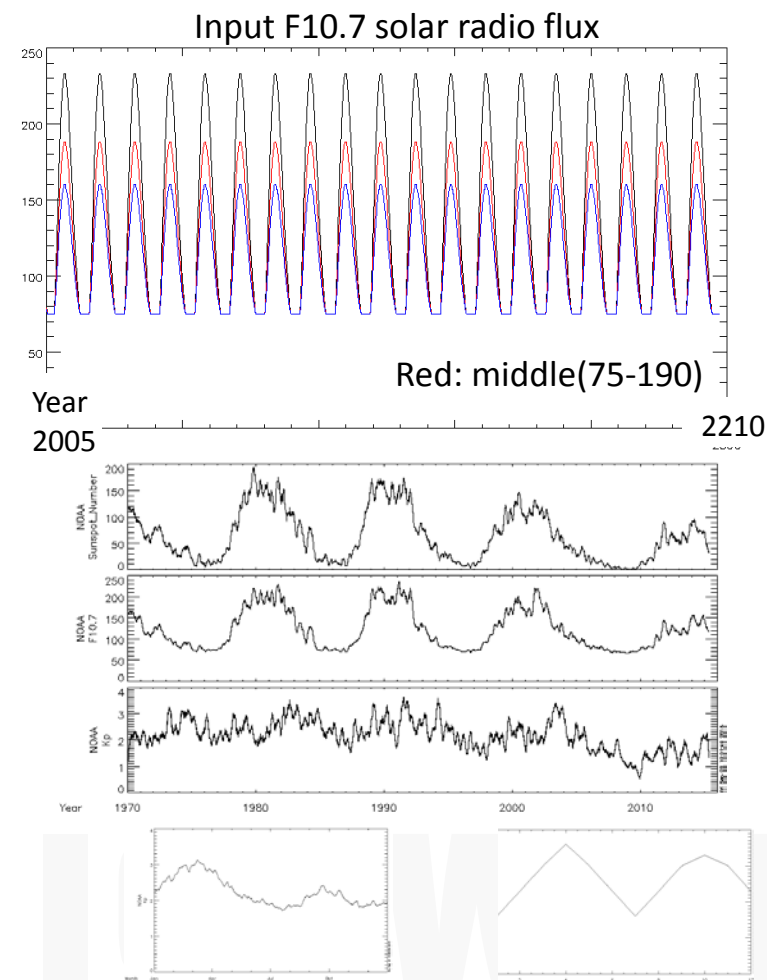
Results



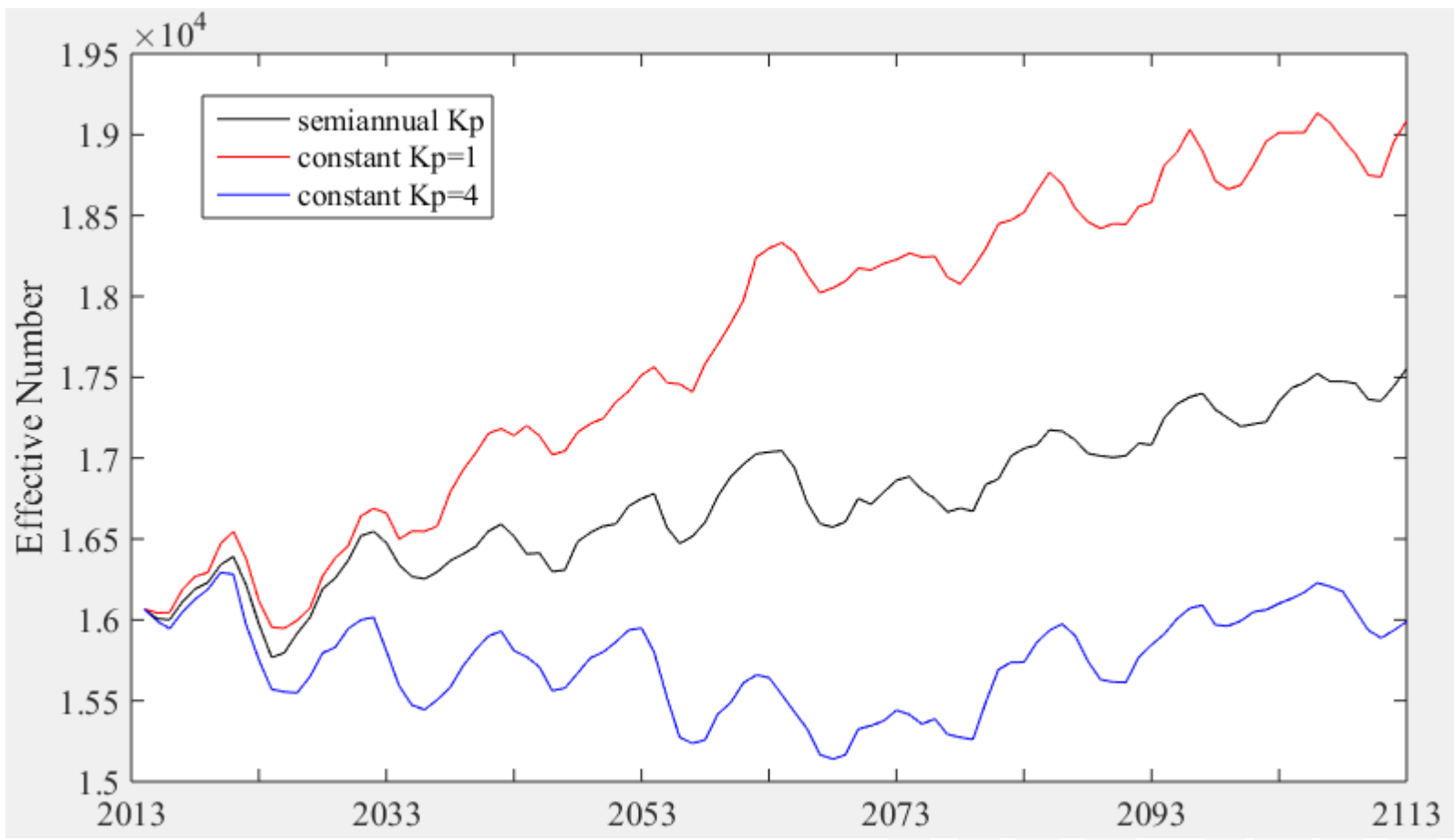
NEODEEM parameters

Evaluation of contributions of space weather disturbances as time series geomagnetic activity parameter

- 未来予測シナリオ
- 衝突によるデブリ生成を考慮。新規打ち上げ、爆発、PMD等は考えない
- 大気密度モデル=Jacchia-Roberts
- 太陽活動度=F10.7は
 - 中程度の太陽活動度が継続
- 地磁気指数Kp の半年周期変動
- 100年間のシミュレーション(2013/01/01-2112/12/31)
- 50回のMonte Carloシミュレーション



Results



Summary

- スペースデブリの長期的な軌道環境を予測する推移モデルにおいて、宇宙天気の影響を考慮し、様々な太陽活動度、地磁気活動度での状況をシミュレート
- 太陽活動度及び地磁気活動度により、低高度領域のデブリ数推移の有効数は大きく変動する。特に、太陽活動度が低調な場合は、宇宙開発がなくとも生成数が消滅数を上回る可能性が示唆
- ADRやPMDなど、デブリ軽減手段の効果と太陽活動度の関連について調査する
- 多方面から、正確に宇宙天気活動の影響を反映させる改修(ex. 大気モデルの更新)をおこなう