



宇宙飛行士健康管理と宇宙環境

～日本人宇宙飛行士の宇宙放射線被ばく管理運用～

平成24年10月1日

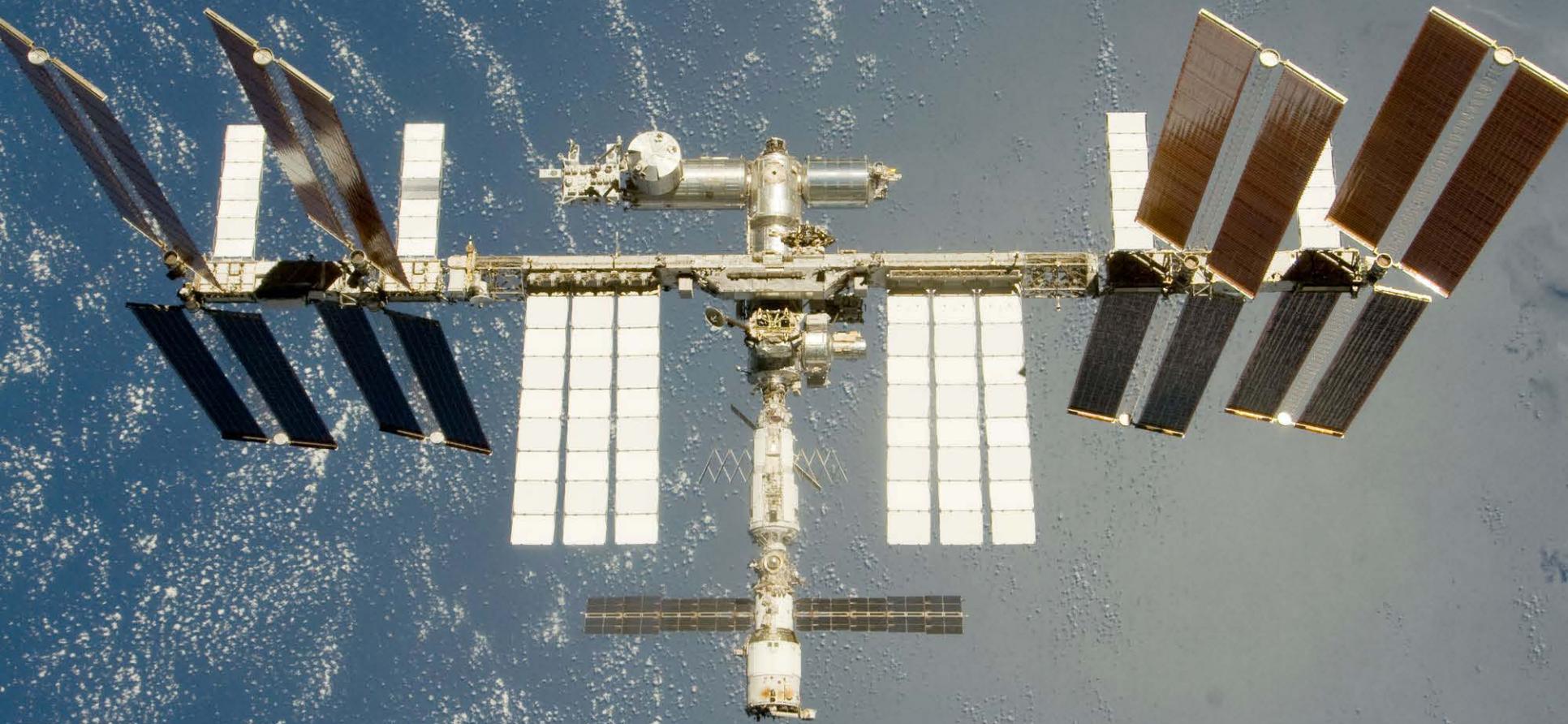
宇宙航空研究開発機構

宇宙飛行士運用技術部

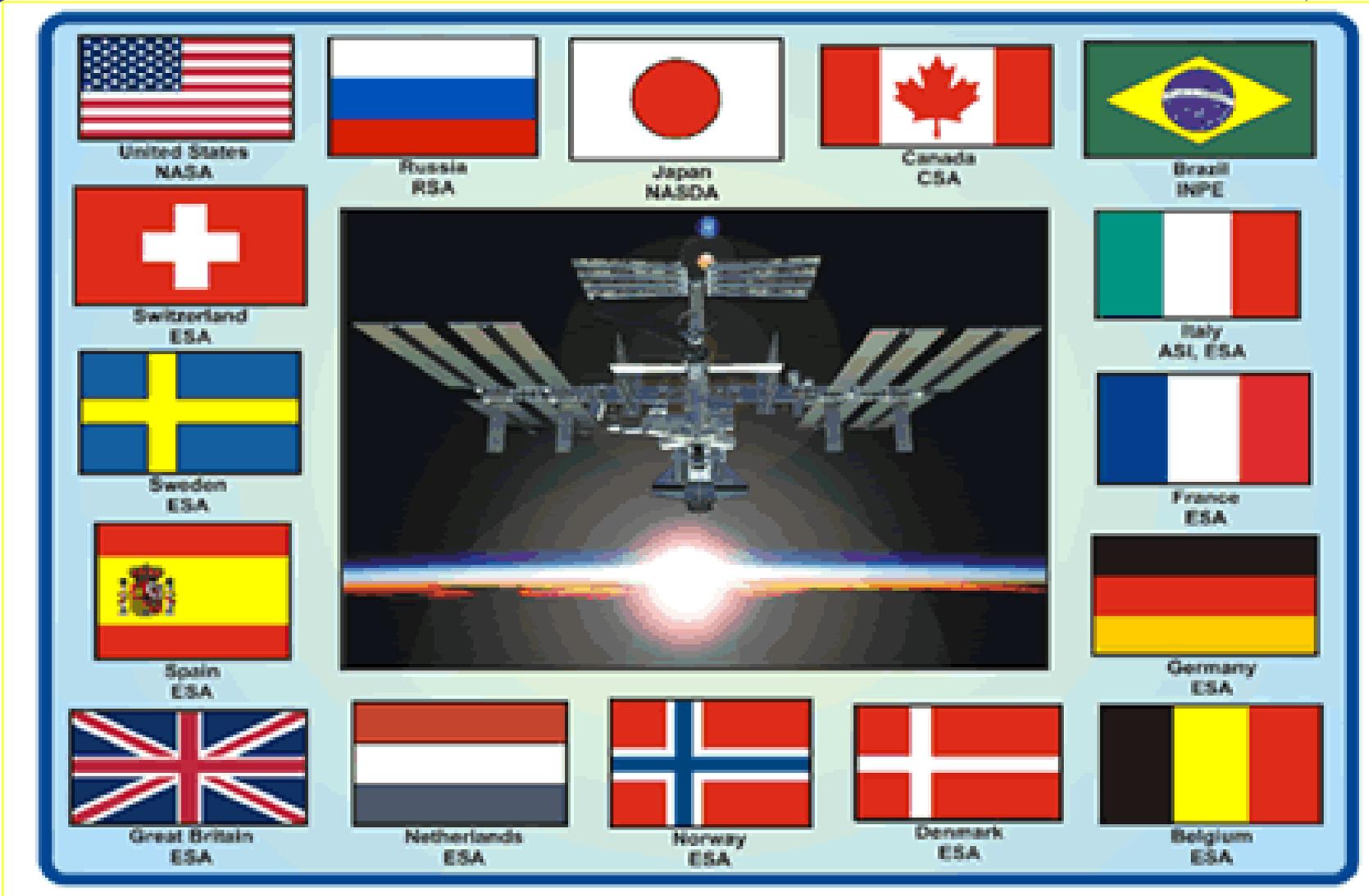
佐藤勝、松村智英美、金子祐樹



- (1) 国際宇宙ステーション (ISS) の概要
- (2) ISS軌道の宇宙環境
- (3) 宇宙飛行士健康管理 (放射線被ばく管理)
- (4) 星出ミッションの状況
- (5) まとめ



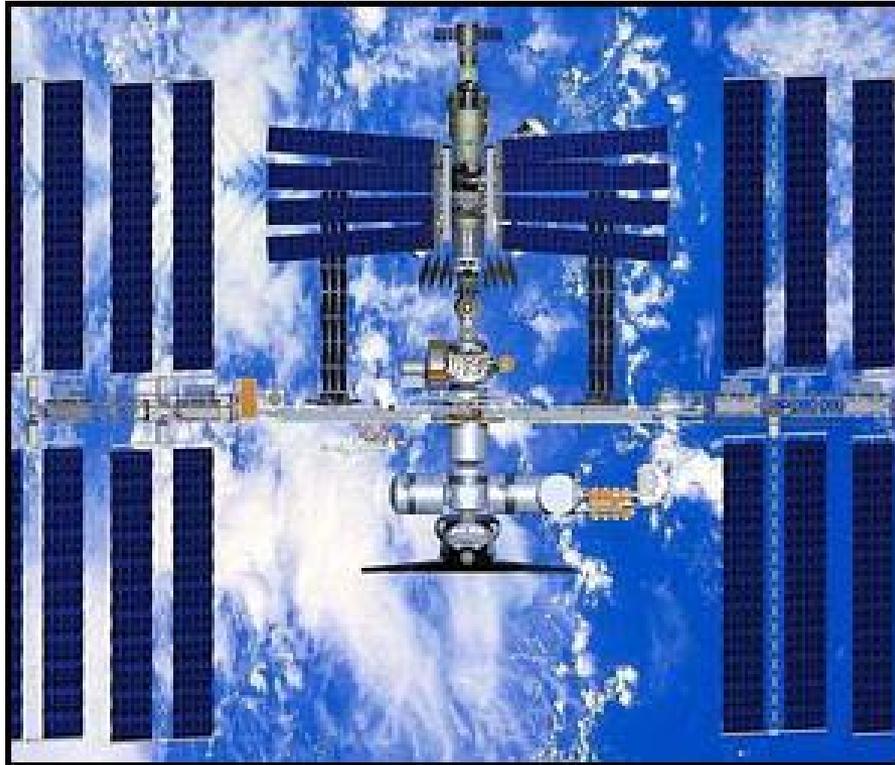
「国際宇宙ステーション」とは？



**世界15カ国が協力して宇宙でいろいろな実験
をするための「宇宙の研究室」！**

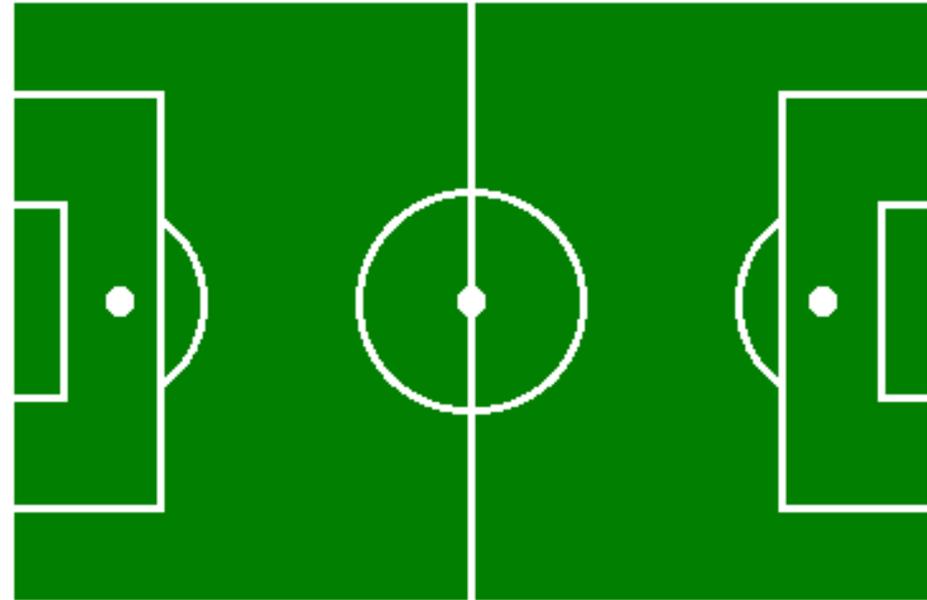
国際宇宙ステーション

108.5m x 88.4m



大人用のサッカー場

105m x 68m



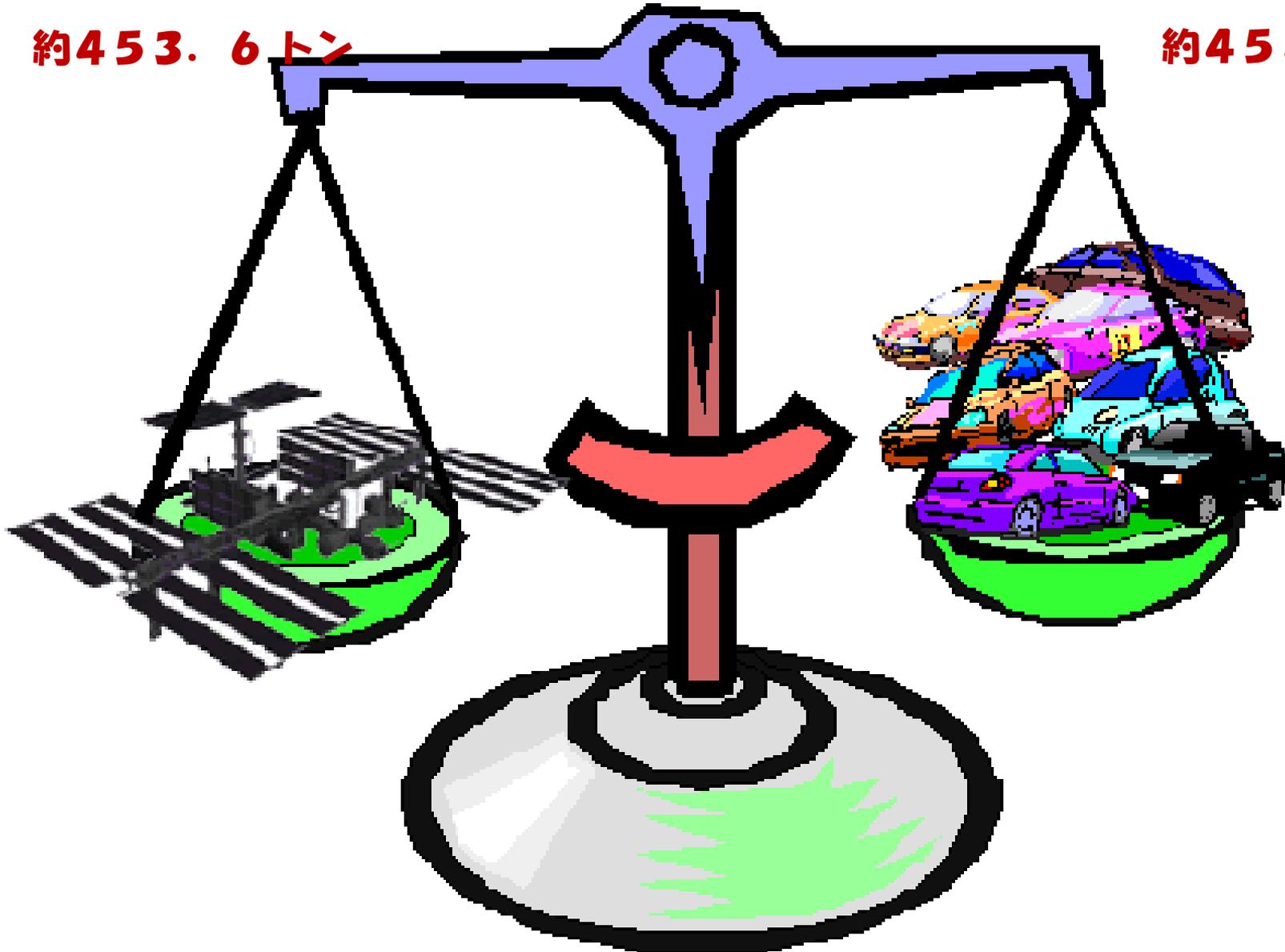
完成すると大人用のサッカー場よりちょっと大きい

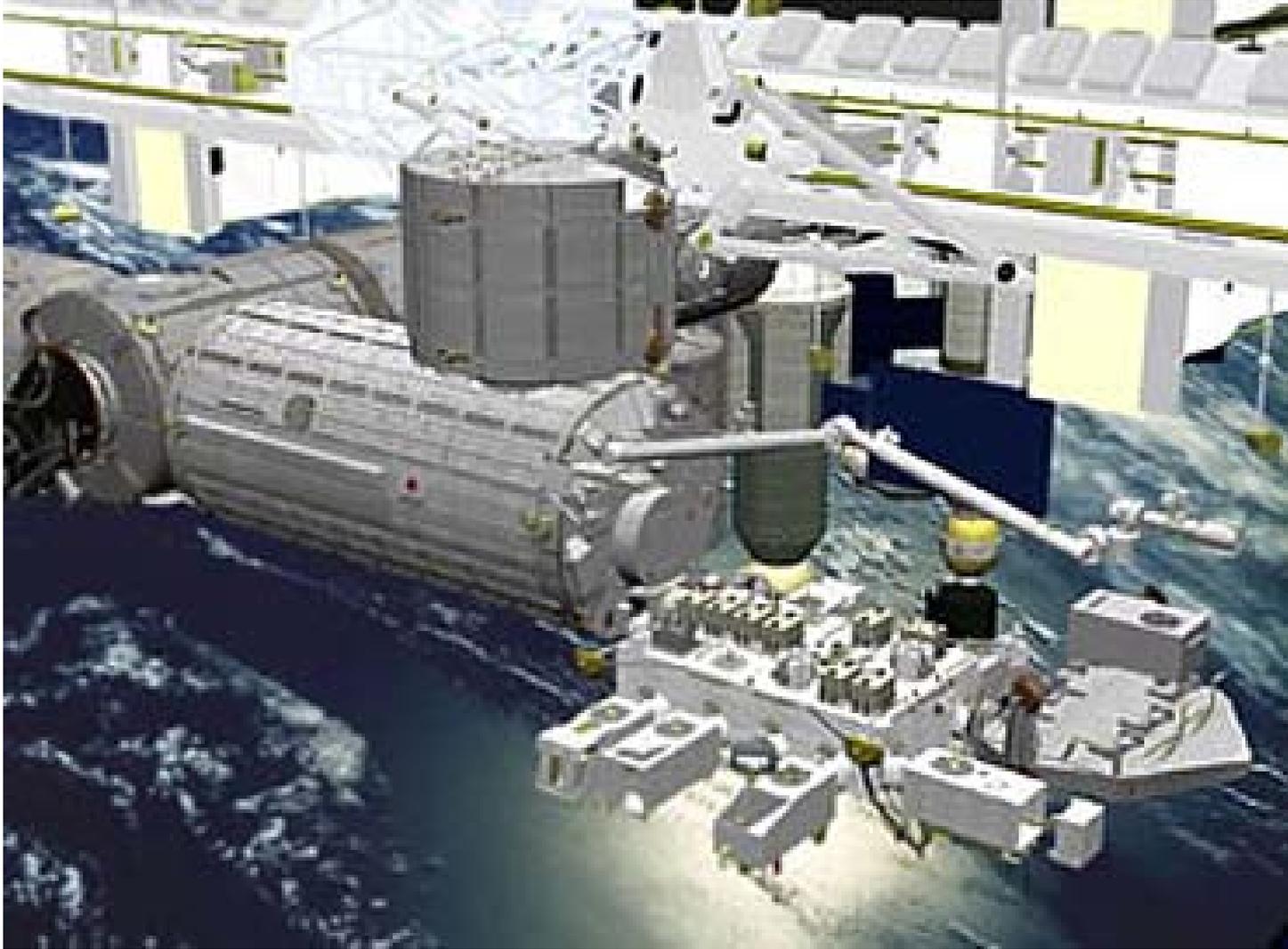
国際宇宙ステーション

約453.6トン

小型自動車

約453台分





「きぼう」とは日本の宇宙実験室！！

3回のスペースシャトルで宇宙に運んで組み立てられました！

「きぼう」日本実験棟

船内保管室

船内実験室

ロボットアーム

10m

4.4m

エアロック

船外パレット

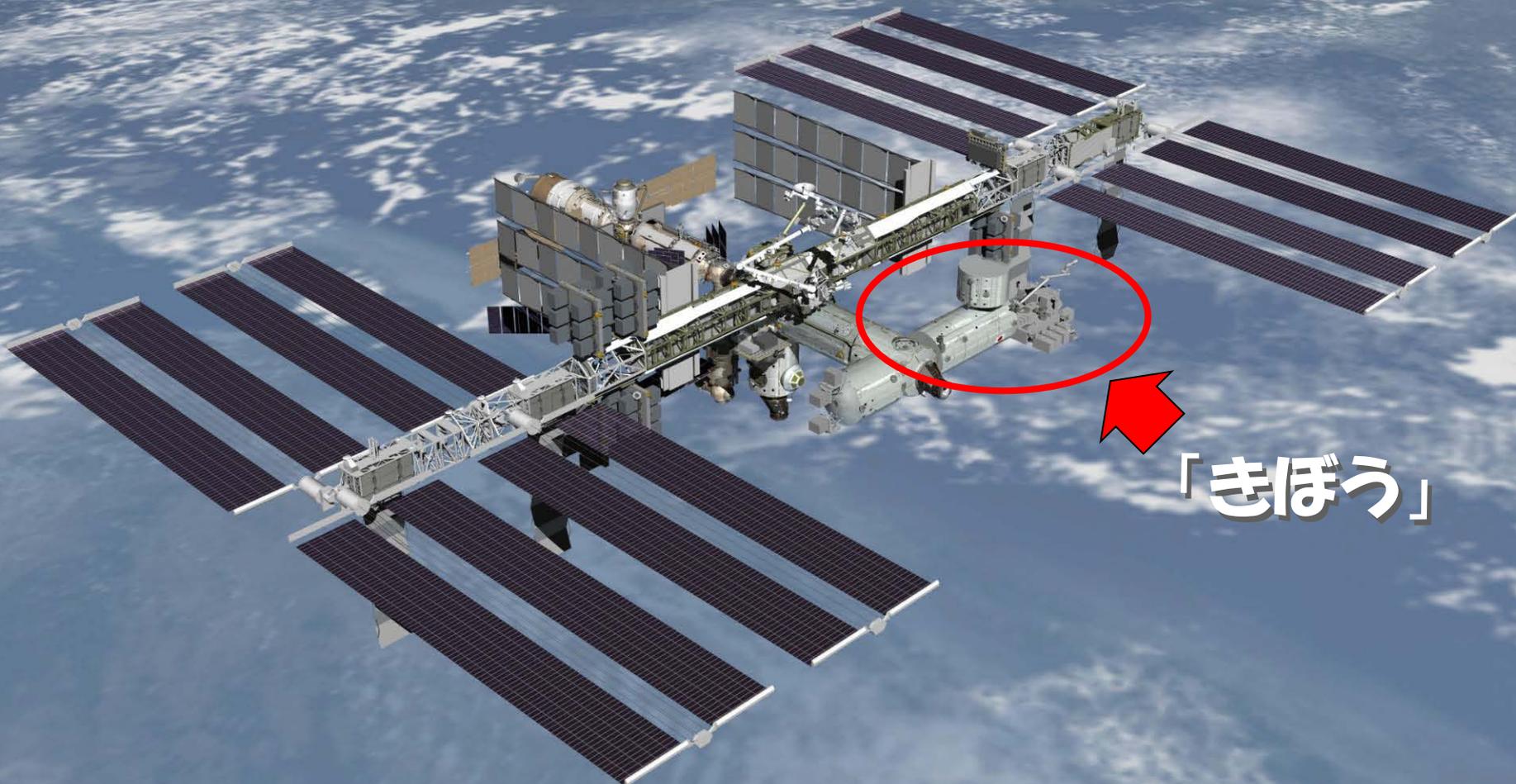
11.2m

総重量47トン

船外実験フラットフォーム



国際宇宙ステーション



「きぼう」

今、こんな形で飛んでいます！！

低地球軌道の宇宙放射線環境 (高度300~500km)

3種類の一次宇宙線源があり、これらが船壁や搭載物質を通過して船内へ入射する。

太陽粒子線

陽子・電子 90%
He原子核 数%
重荷電粒子 (>He)



銀河宇宙線

陽子・電子 90%
He原子核 10%弱
Li~Fe原子核
γ, X線等の電磁波

捕捉粒子線

バンアレン帯
内帯 = 主に陽子
外帯 = 主に電子

 : 国際宇宙ステーション・スペースシャトルの軌道
高度300~500km(低地球軌道)

出典: JAXA 宇宙環境利用センター
(JAXA ホームページ)

ISS: 地球の磁気により、よほど大きな太陽フレアでなければ被ばく線量に寄与しない。

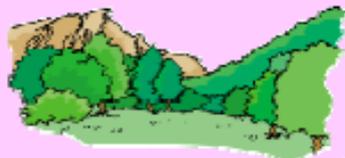
地上の自然放射線
地上では、1年間に2.4mSv(世界平均)

外部被ばく

宇宙から降りそそいでくる
放射線を体にうける
(年間0.39ミリシーベルト)



大地から出てくる
放射線を体にうける
(年間0.48ミリシーベルト)



内部被ばく

食べた食物に含まれている
放射線を体内からうける
(年間0.29ミリシーベルト)



空気中に含まれているラドンなどの
放射性物質を吸い込んで放射線を
体内からうける
(年間1.26ミリシーベルト)

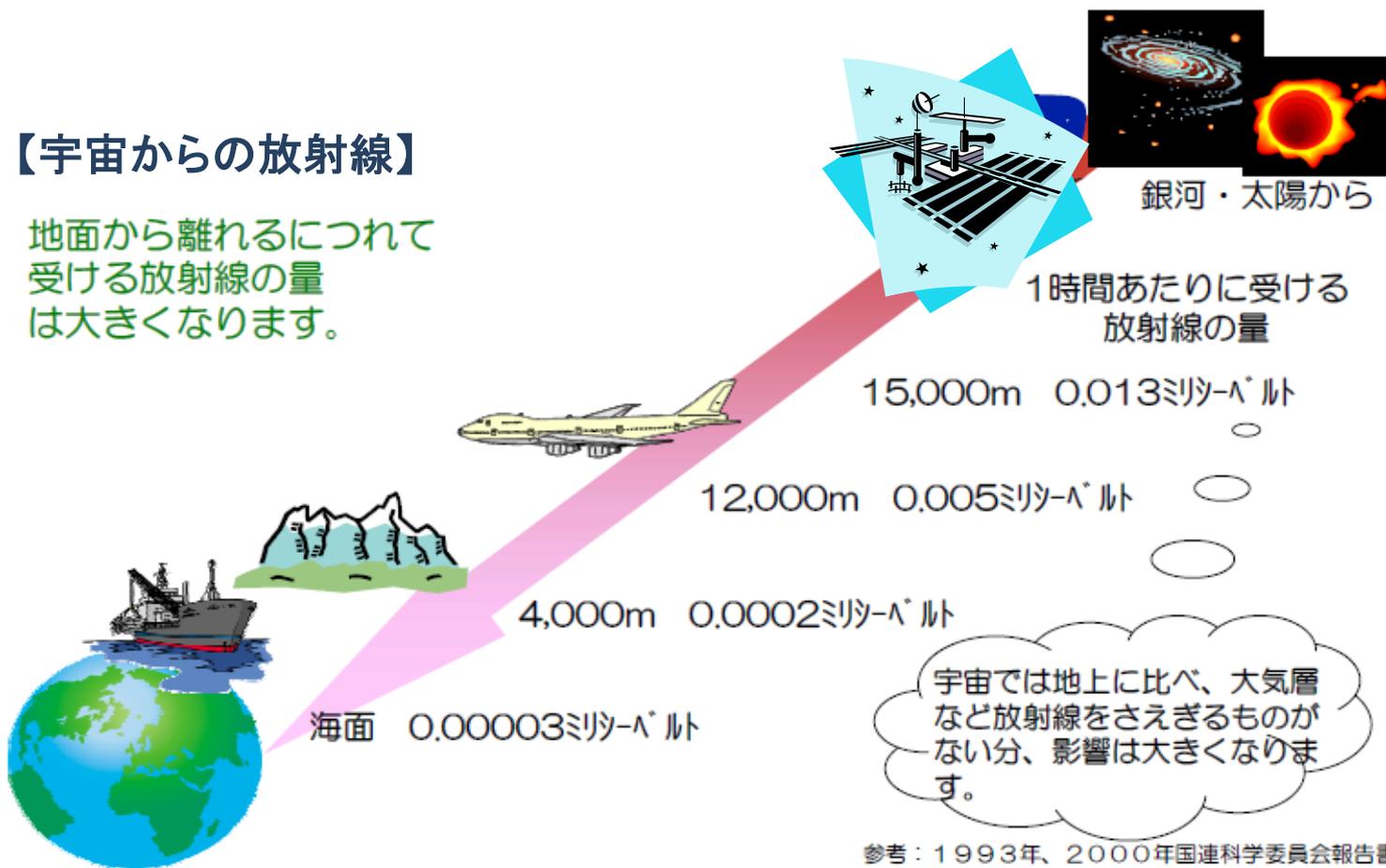


参考：2000年国連科学委員会報告書

ISS: 0.02~0.04mSv/hr (0.5~ 1mSv / day)

【宇宙からの放射線】

地面から離れるにつれて
受ける放射線の量
は大きくなります。



ISS滞在中の1日当たりの放射線量は、地上での約半年分に相当

○宇宙飛行士の宇宙放射線被ばくの線量制限値は、国際放射線防護委員会(ICRP)の勧告をもとにJAXAで独自に設定

⇒ **宇宙放射線は、自然放射線であるため、国内に規制に関する法律が存在しない。**

初めて宇宙飛行を行った年齢	男性 (mSv)	女性 (mSv)
27～29	600	600
30～34	900	800
35～39	1000	900
40以上	1200	1100

寄与生涯がん死亡確率(生涯にわたってがんで死亡する確率の放射線被ばくによる増加分)に基づき設定。

- 想定条件(初飛行後3年に1回搭乗)で **3%程度**
- 若年時に毎年搭乗しても5%未満

(参考)職業被ばく限度(5年平均で20 mSv/年、単年で50 mSv/年、18-65歳就業960mSv被ばく)では、3.6%

組織・臓器	骨髄	水晶体	皮膚	精巣
1週間 (mSv)	—	500	2000	—
1年間 (mSv)	500	2000	7000	1000
生涯 (mSv)	—	5000	20000	—

不可逆的な確定的影響を回避するため、実効線量制限値のみでは防護できない組織について、個別に制限値を設定。
影響発生のおしきい値以下に管理。

日本人宇宙飛行士のISS搭乗計画

2009年(H21)	2010年(H22)	2011年(H23)	2012年(H24)	2013年(H25)	2014年(H26)
------------	------------	------------	------------	------------	------------

若田飛行士
第18次/第19次/第20次長期滞在



2009年
3月16日打上(フ(15A)
7月31日帰還(2J/A)

完了

古川飛行士
第28次/第29次長期滞在



2011年
6月8日打上げ
11月22日帰還

完了

若田飛行士
第38次/第39次長期滞在



2013年末から
約半年間滞在予定

野口飛行士
第22次/第23次長期滞在



2009年
12月21日打ち上げ
2010年6月2日帰還(21S)

完了

星出飛行士
第32次/第33次長期滞在



2012年
7月15日打上げ
11月12日帰還(予定)

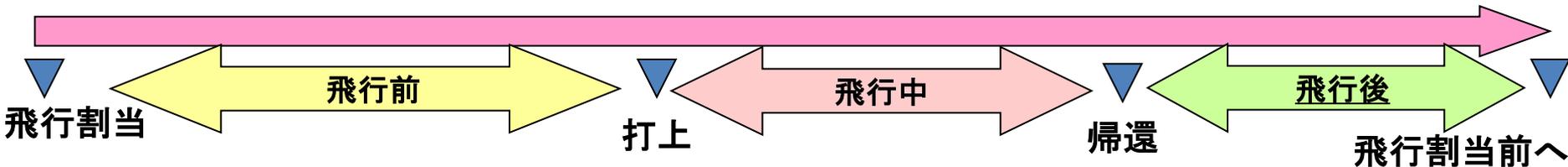
山崎飛行士
STS-131



2010年
4月5日打上げ
4月20日帰還

完了

放射線被ばく管理作業



飛行前線量評価

- 飛行前被ばく線量予測値の算定

飛行士へのリスク説明

個人線量計 (JaCPD*) の準備



宇宙放射線環境モニタリング

- 太陽フレア
- 太陽粒子現象
- 地磁気擾乱
- ISS内線量

飛行中線量評価

- 飛行中個人線量評価 (1回/週)

異常時対応

- 異常時予測値算定実施

船外活動 (EVA) 時

- EVA中の宇宙天気予報の入手
- EVA前予測値算定
- EVA中太陽-地球圏の宇宙環境自動監視

飛行後線量評価

- 個人線量計の解析・評価

デブリーフィング

- 要改善事項の抽出

飛行士への結果説明

* JaCPD: JAXA Crew Passive Dosimeter

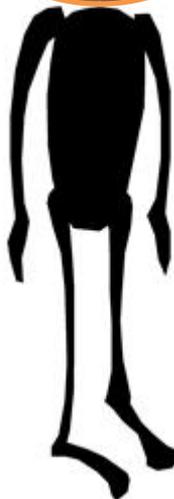
JAXA放射線被ばく管理担当チーム

放射線被ばく管理
まとめ



佐藤勝

放射線被ばく管理
星出ミッションまとめ



松村智英美

放射線被ばく管理
OJT



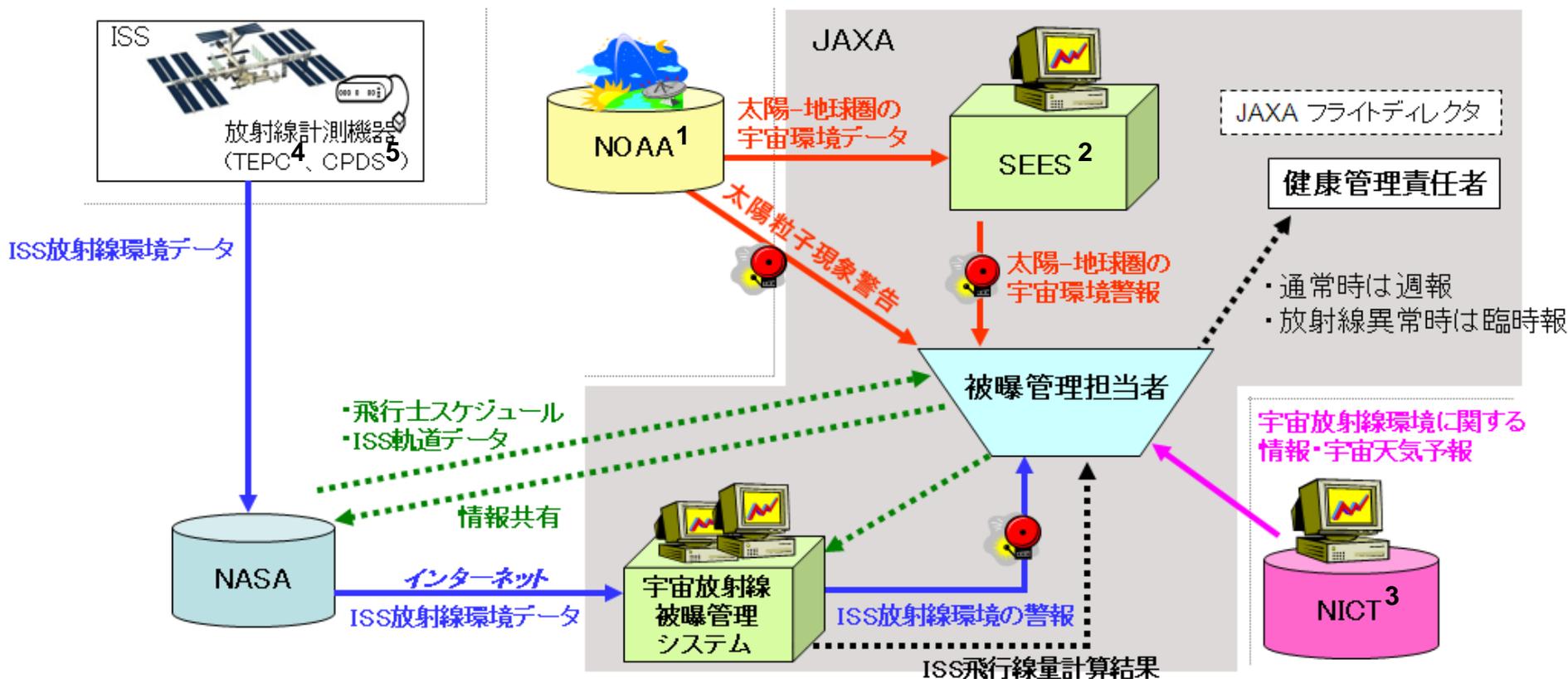
金子祐樹

放射線被ばく管理



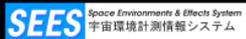
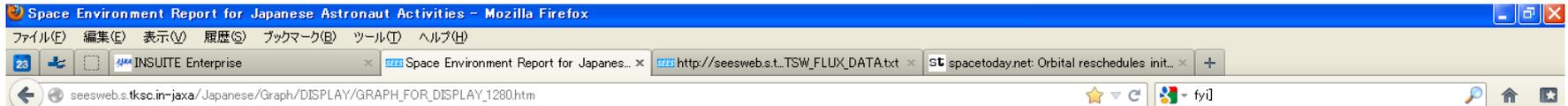
JAMSS 相部洋一

※実線はオンラインを、破線はオフラインを示す。



- 注)
- 1: NOAA (米国海洋大気局)
 - 2: SEES (Space Environments & Effects System、宇宙環境計測情報システム)
 - 3: 情報通信研究機構
 - 4: Tissue Equivalent Proportional Counter
 - 5: Extra-Vehicular Charged Particle Directional Spectrometer

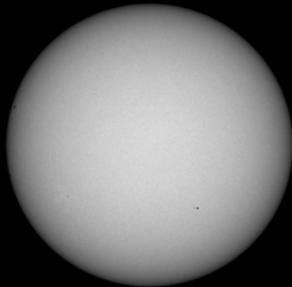
有人ミッション用に整理したweb page



Space Environment Group
Aerospace Research and Development Directorate
Japan Aerospace Exploration Agency

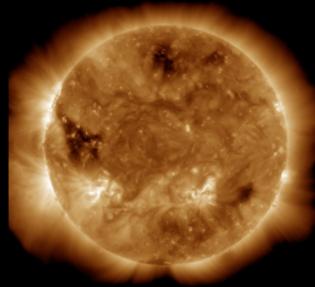
Space Environment Report for Japanese Astronaut Activities (1 / 2 / 3 / 4 / 5 / 6 / 7 / 8)

White Light



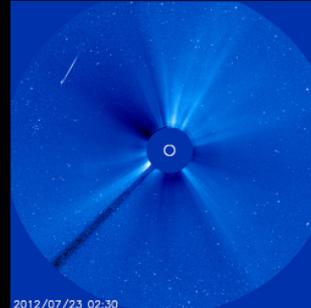
SDO (©)NASA

Ultra Violet

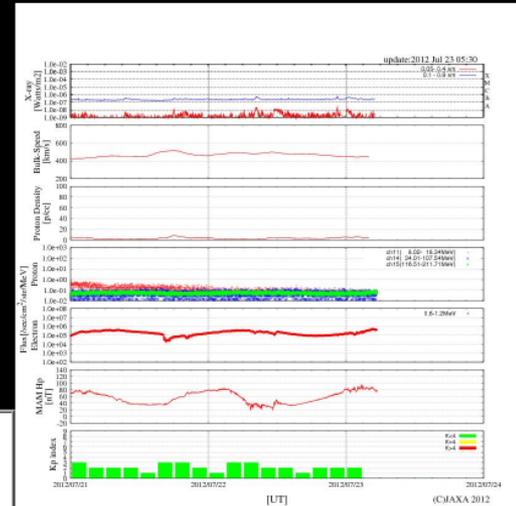


SDO (©)NASA

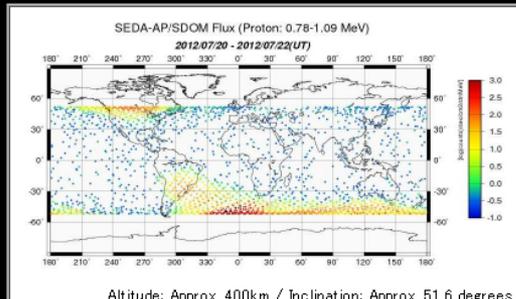
Corona



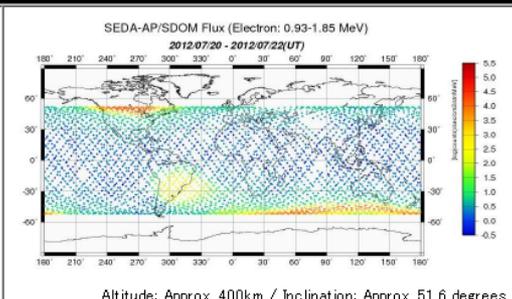
SOHO (©)NASA/ESA



Data	Satellite	Orbit
X-ray	GOES15	Geostationary orbit (105E)
Bulk-Speed·Proton Density	ACE	Lagrangian L1 point
Proton·Electron	DRTS	Geostationary orbit (90.75E)
MAM Hp(north direction)	ETS8	Geostationary orbit (146E)



Altitude: Approx. 400km / Inclination: Approx. 51.6 degrees

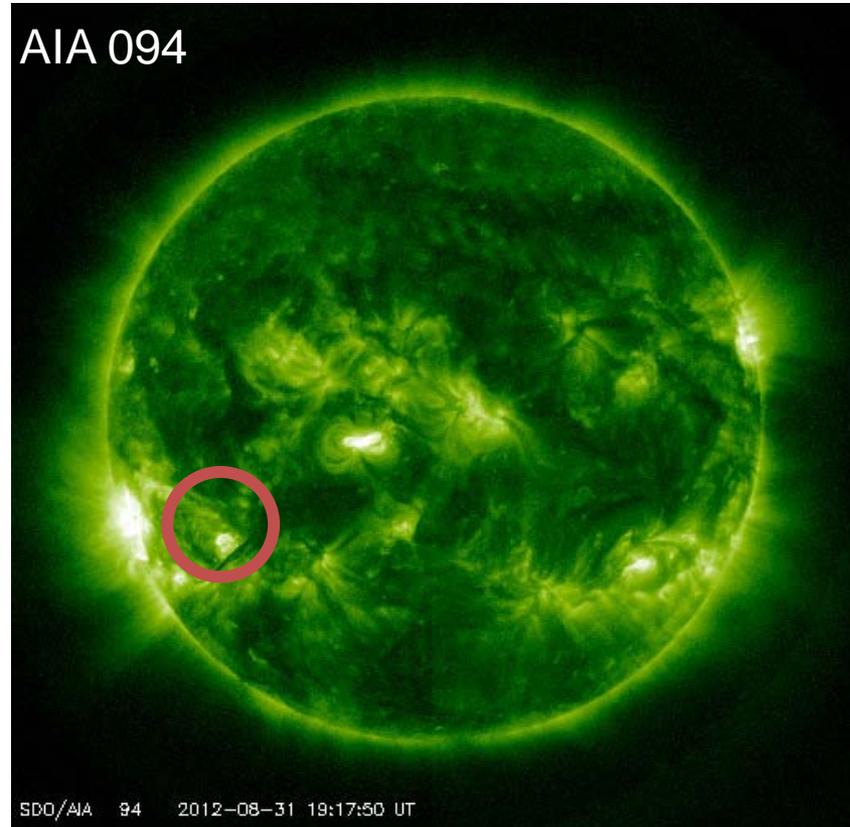
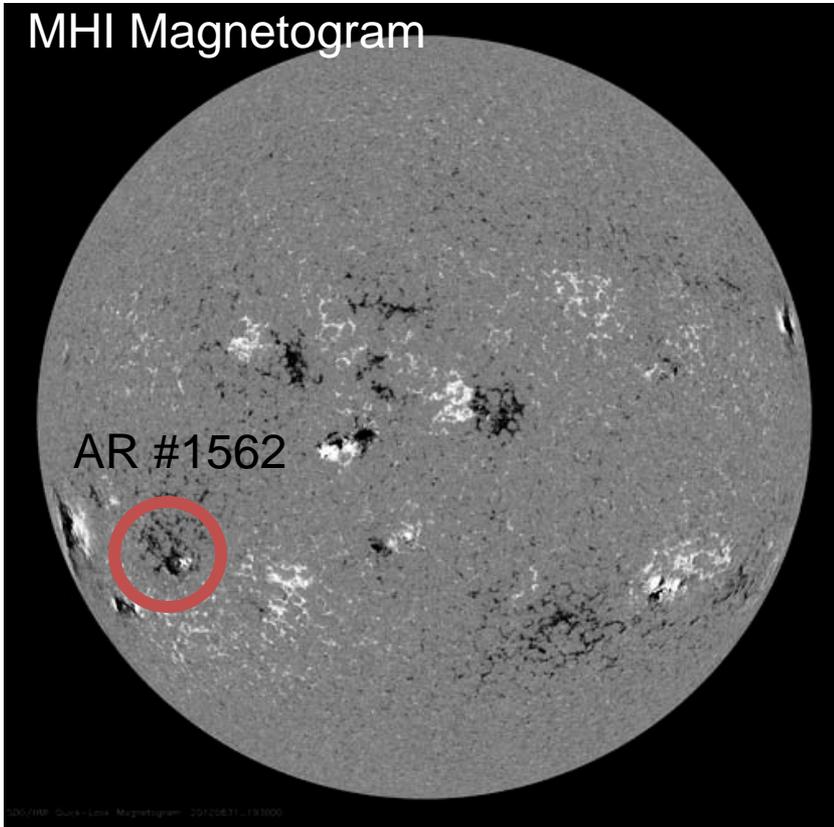


Altitude: Approx. 400km / Inclination: Approx. 51.6 degrees

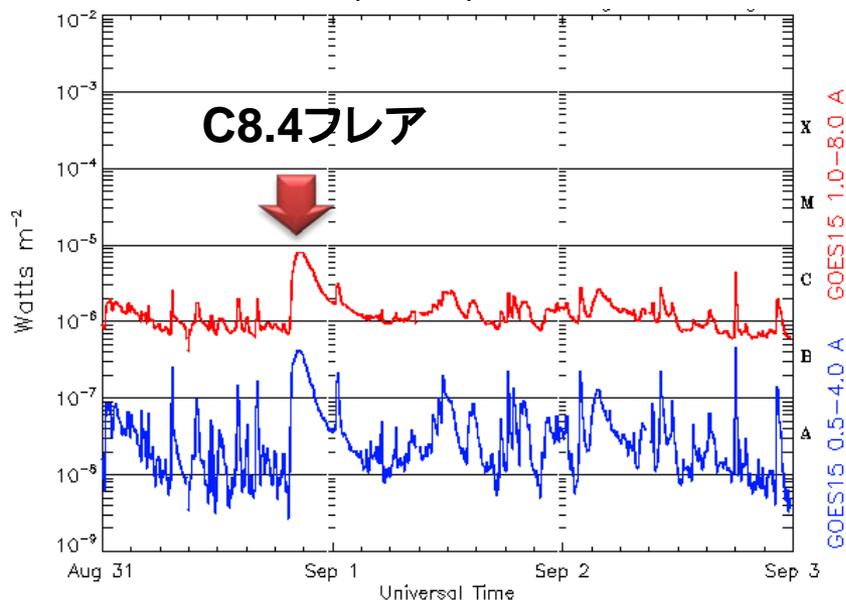
異常時のレベル	定義	対処
警戒 (Alert)	<ul style="list-style-type: none"> • NOAAがSPE※¹ (太陽粒子イベント (静止軌道上で10MeVを超える陽子数が10個/cm²・s・ster以上)) の予報 (警報) を出した場合 • SPEが発生した場合 • 地磁気嵐 (Kp>7) の場合 	<ul style="list-style-type: none"> • ISS内の放射線量の確認 • 地上側で放射線量のモニタリングを継続 • ISS内放射線計測機器 (TEPC) の動作状況確認
非常事態 (Contingency)	<ul style="list-style-type: none"> • ESPE※² が (高エネルギー太陽粒子イベント (静止軌道上で100MeVを超える陽子数が1個/cm²・s・ster)) が発生した場合 	<ul style="list-style-type: none"> • ISS内の放射線量を確認し、必要に応じ介入措置を実施 (遮蔽の薄い箇所への立入制限等) • 100MeV 陽子が100PFUを超過した場合は、遮蔽の厚い場所への滞在を勧告

※1 : SPE (Solar Particle Event) : 10MeVを超える陽子が10個/cm²・s・ster以上
 ※2 : ESPE (Energetic SPE) : 100MeVを超える陽子が1個/cm²・s・ster以上

2012/8/31 SDO衛星による太陽磁場(左)とUV画像(右)

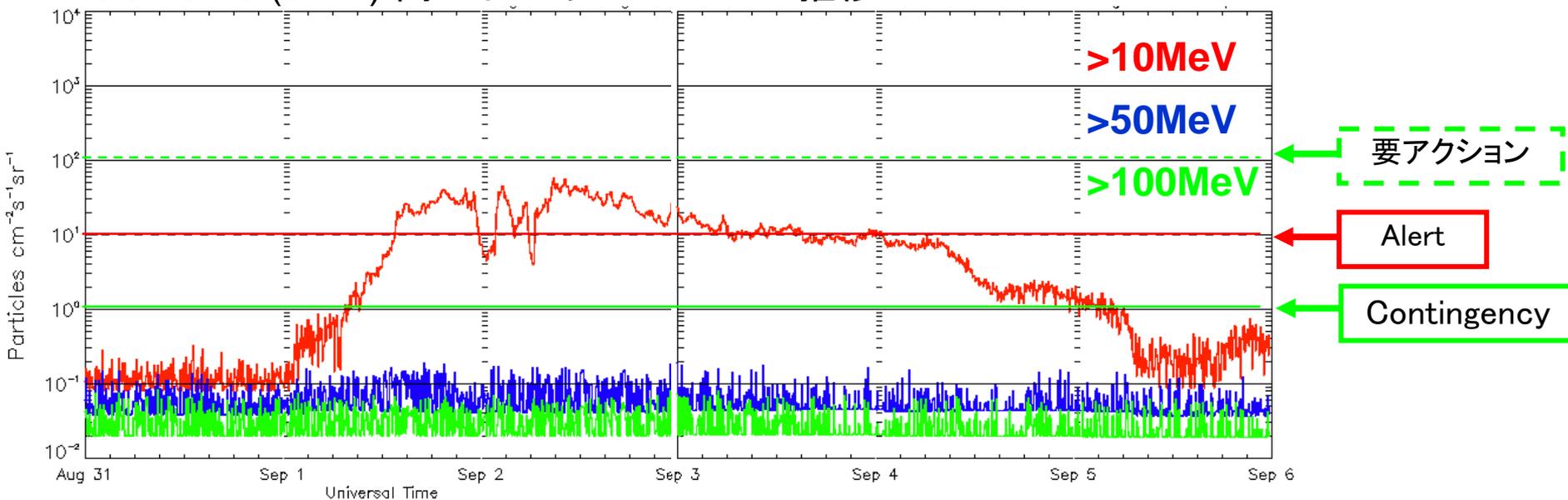


GOES 15 (5min) 太陽X線画像



星出ミッション (Exp.32/33) 中の 太陽活動

GOES 13 (5min) 高エネルギープロトンの推移



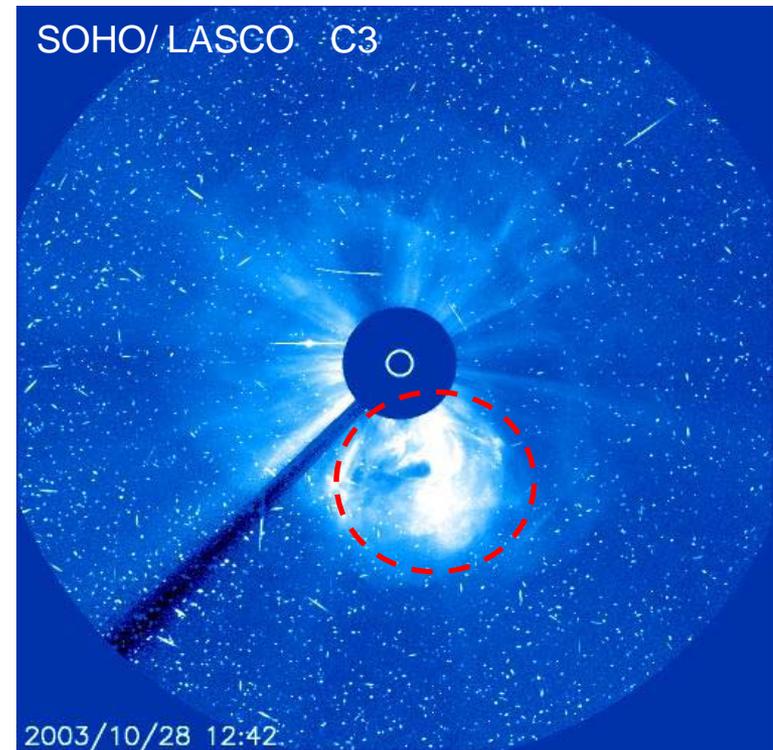
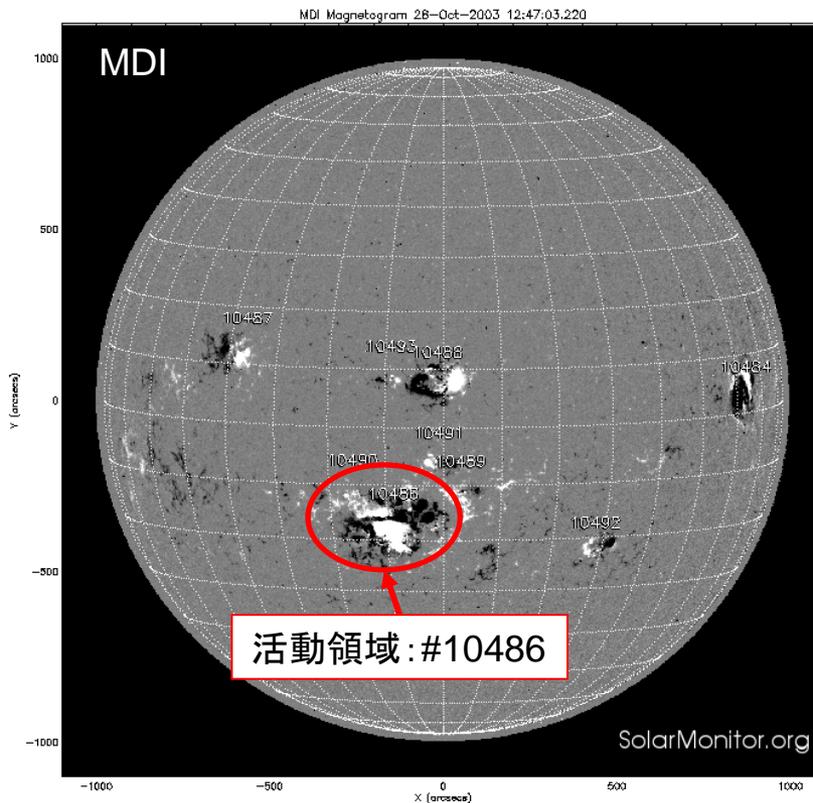
巨大太陽フレア発生例

2003年10月28日:

1975年以降3番目の規模である巨大フレア(X17)発生

このフレアにより、静止軌道で観測された**高エネルギー粒子(10MeV)数は29,500pfu**

⇒ 宇宙飛行士の活動を制限し遮蔽効果の高い場所に退避

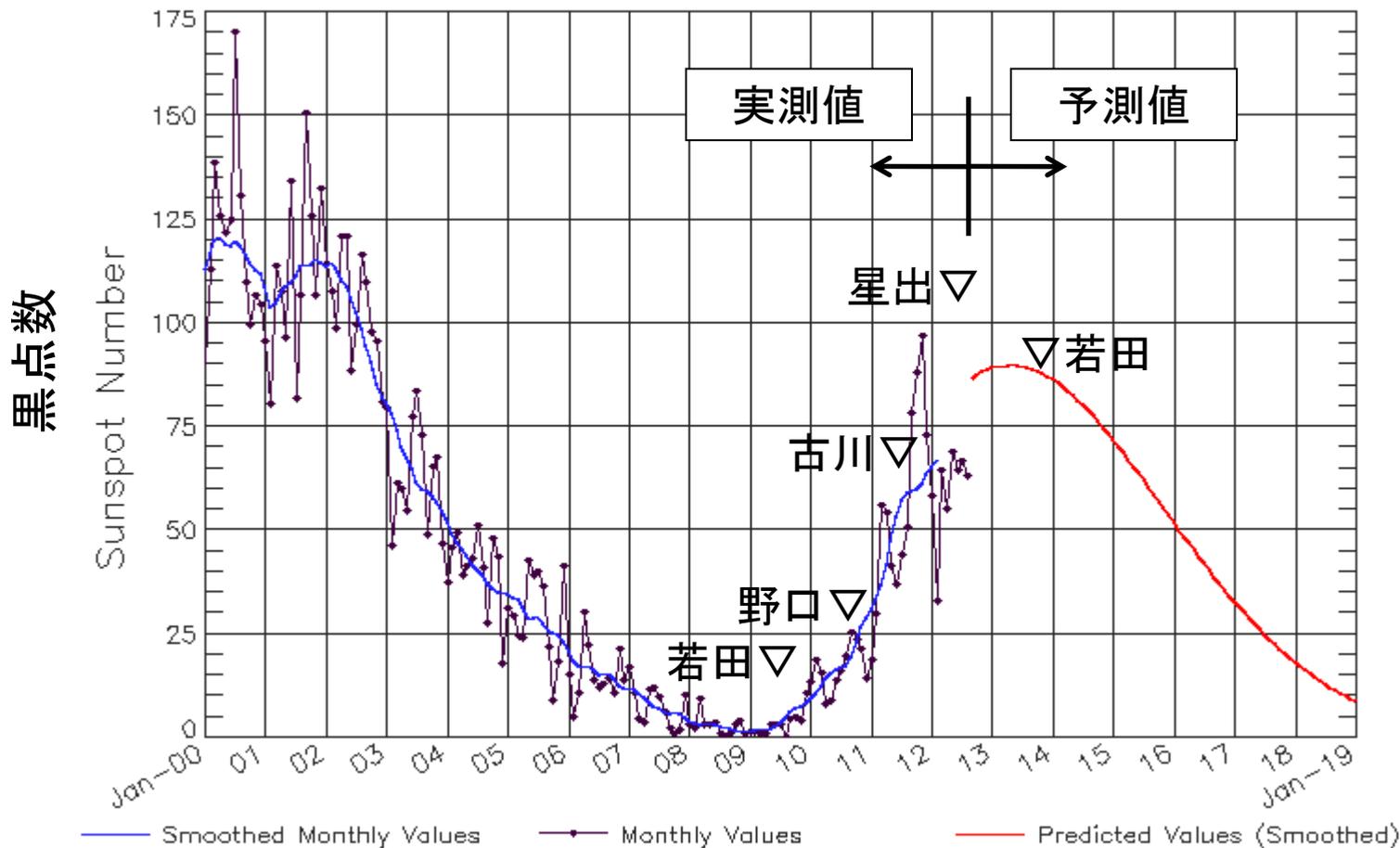


左: 衛星MDI、右: SOHO衛星コロナグラフ(中央の目隠し部分が太陽)

赤丸で囲った部分は、太陽から放出される粒子(Corona mass Ejection(CMR); コロナ質量放出)の様子。

出典: Solar Monitor(左)、SOHO (ESA & NASA)(右)

ISES Solar Cycle Sunspot Number Progression
Observed data through Aug 2012

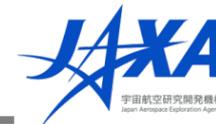


Updated 2012 Sep 3

NOAA/SWPC Boulder, CO USA



放射線量の算定に必要な宇宙環境データ



タイミング		算定内容	宇宙環境データ
飛行前		飛行中被ばく線量予測	飛行期間中の 高エネルギープロトン数
飛行中	通常時	被ばく線量(実績)	-
	宇宙環境 異常時	被ばく線量予測	異常時(フレア等)に予測される 高エネルギープロトン数
	船外活動前	被ばく線量予測	船外活動中の ・高エネルギープロトン数 ・ $\geq 10\text{keV}$ 電子数

- (1) 国際宇宙ステーション計画は15カ国が参加する国際プロジェクト
- (2) ISS軌道では、プロトン、電子、重粒子が多い環境
- (3) 宇宙飛行士健康管理(放射線被ばく管理)には、太陽フレアによる高エネルギープロトンや電子の値が不可欠であり、更なる予測精度の向上が望まれる。