

第2回目「探査の将来を考える勉強会」

「宇宙に滞在する人間の健康管理」

2019年9月18日(水)

日本大学
JAXAきぼう利用センター
泉 龍太郎

自己紹介

1985年：九州大学医学部卒業

九州大学附属病院第一内科 研修医

1991年：第2回宇宙飛行士募集に応募

1992年：九州大学医学部博士課程修了

(基礎医学；分子生物学)

1993年～：(財)宇宙環境利用推進センター

1998年～：宇宙開発事業団/JAXA

2009年～：日本原子力研究開発機構 産業医

2013年～：日本大学大学院

検索：泉 龍太郎 & 日本大学

<https://atlantic2.gssc.nihon-u.ac.jp/subject/faculty/m/2019y/izumiryutarou/>

宇宙関係の仕事

- ・国際宇宙ステーションを利用した生命科学研究
- ・宇宙飛行士の健康管理



S130E012022



写真：JAXA提供

宇宙医学とは？

○ヒトが宇宙で生きるためには？

→ 宇宙環境が人体に及ぼす影響とその対策
広義の環境医学、産業医学の一分野
広くは衣・食・住を含む



宇宙飛行士の健康管理

○地上支援要員の健康管理

○宇宙ステーションを利用した医学研究

宇宙ステーション軌道の環境



微小重力(無重量)

$$10^{-6} \sim 10^{-4} g$$

宇宙放射線・真空紫外線

高真空

$$10^{-5} \text{Pa}$$

原子状酸素

軌道熱環境

宇宙環境の特徴

○高真空

○温度

そのままでは生存不可

(宇宙船・宇宙服の必要性)

→ 閉鎖環境

○ 微小重力

○ 宇宙放射線

○ 磁場



宇宙環境が人体に及ぼす影響

○ 重力の変化

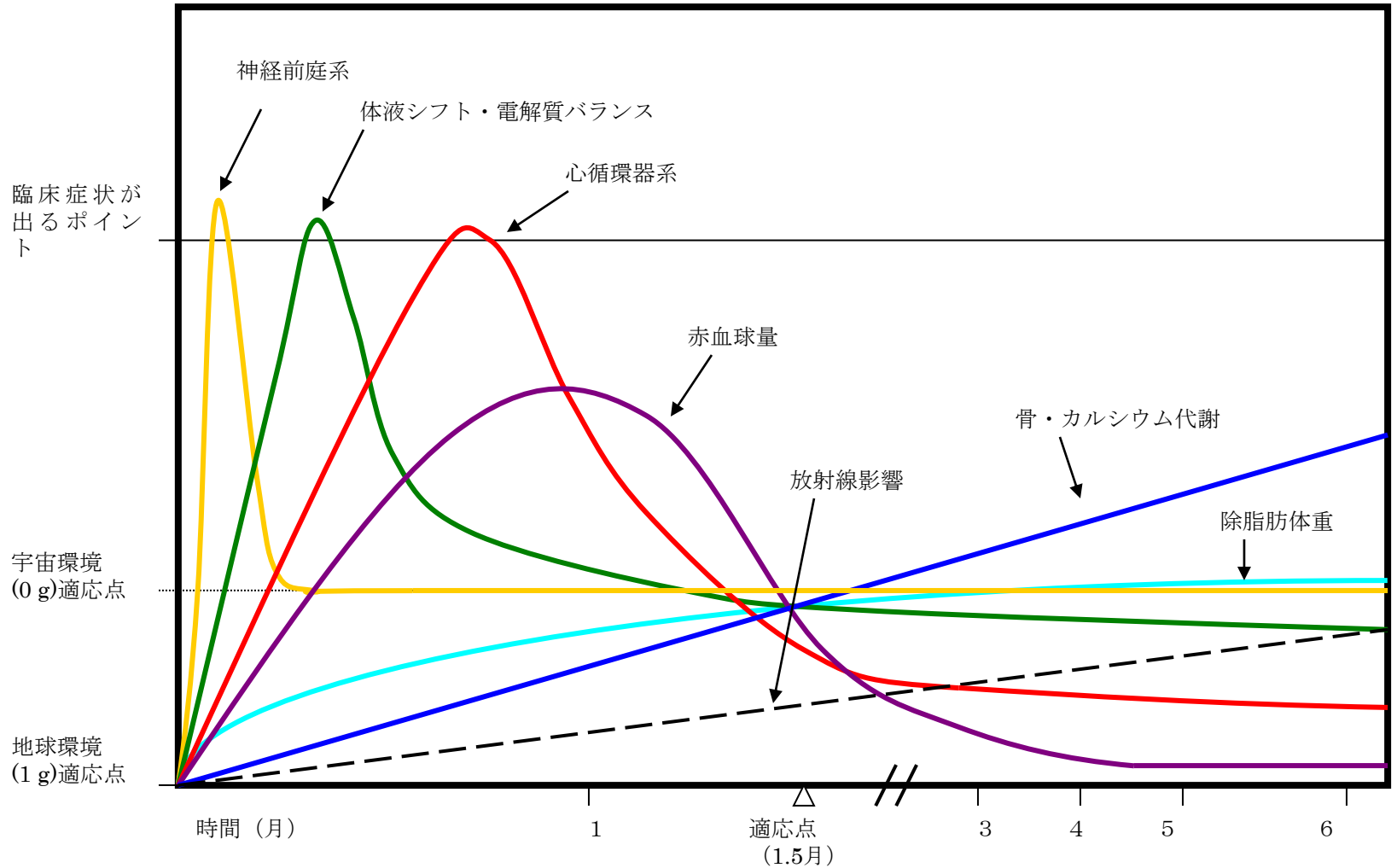
微小重力(ISS) ↔ 過重力(打上げ、帰還時)

月 = 1/6G、火星 = 3/8G

- ◎ 体液の移動、心循環器系への負荷
- ◎ 神経・平衡感覚系の変化 → 宇宙酔い
- ◎ 筋骨格系の変化(萎縮)
- ◎ 長期 → 血液、免疫、栄養代謝、等

○ 宇宙放射線の影響

宇宙環境の人体への影響



出典: 'Space Physiology and Medicine (3rd ed.)' Nicogossian他、Lea & Febiger (1994)より改変

宇宙における体液の移動：下から上へ

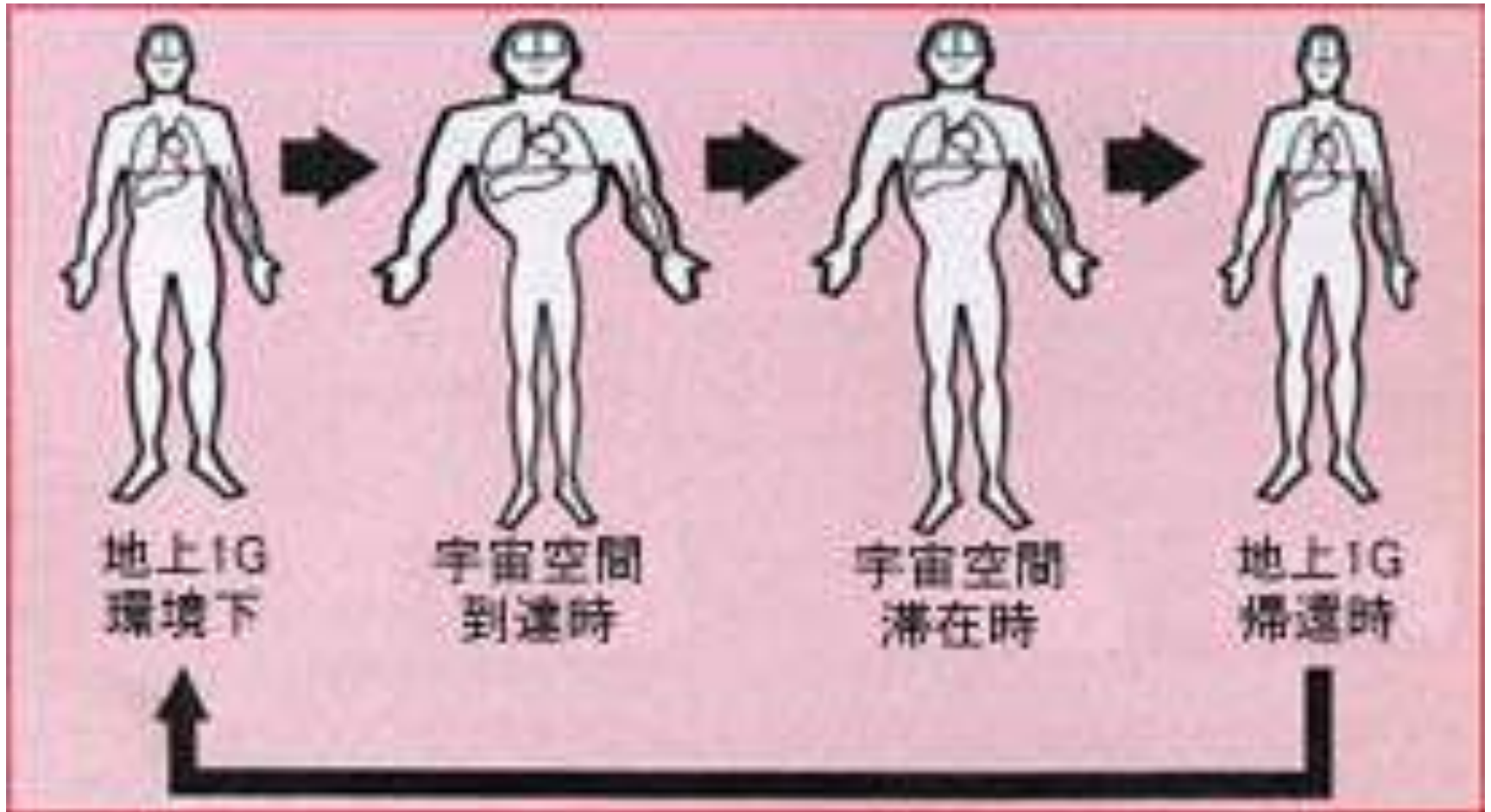


Photo by JAXA

ベッドレスト研究



頭部を 6° 下げた状態が、宇宙環境に近いと言われている
→ この状態で、数ヶ月単位の実験が実施されている

宇宙では筋骨格・心循環器系が退化 (寝たきりと同じ状態) → 運動が必要不可欠

トレッドミル



抵抗運動



エルゴメーター



写真: NASA提供

NASA Human Research Roadmap



<https://humanresearchroadmap.nasa.gov/>

Baseline;12/20/2007, Revision K;7/31/2019

Risks and Concerns

Risks and Concerns	
Risk of Adverse Health Outcomes & Decrements in Performance due to Inflight Medical Conditions	Medical
Risk of Renal Stone Formation	Renal
Risk of Ineffective or Toxic Medications Due to Long Term Storage	Stability
Risk of Adverse Health & Performance Effects of Celestial Dust Exposure	Dust
Risk of Bone Fracture due to Spaceflight-induced Changes to Bone	Fracture
Risk of Adverse Cognitive or Behavioral Conditions and Psychiatric Disorders	BMed
Risk of Acute (In-flight) and Late Central Nervous System Effects from Radiation Exposure	CNS
Risk of Performance and Behavioral Health Decrements Due to Inadequate Cooperation, Coordination, Communication, and Psychosocial Adaptation within a Team	Team
Risk of Performance Decrements and Adverse Health Outcomes Resulting from Sleep Loss, Circadian Desynchronization, and Work Overload	Sleep
Risk of an Incompatible Vehicle/Habitat Design	Hab
Risk of Inadequate Design of Human and Automation/Robotic Integration	HARI
Risk of Inadequate Human-Computer Interaction	HCI
Risk of Inadequate Mission, Process and Task Design	MPTASK
Risk of Performance Errors Due to Training Deficiencies	Train
Risk of Injury from Dynamic Loads	Occupant Protection
Risk of Inadequate Nutrition	Nutrition
Risk Of Early Onset Osteoporosis Due To Spaceflight	Osteo
Risk of Cardiac Rhythm Problems	Arrhythmia
Risk of Injury and Compromised Performance Due to EVA Operations	EVA
Risk of Decompression Sickness	DCS
Risk of Adverse Health Event Due to Altered Immune Response	Immune
Concern of Intervertebral Disc Damage upon and immediately after re-exposure to Gravity	IVD
Concern of Clinically Relevant Unpredicted Effects of Medication	PK/PD
Risk of Impaired Control of Spacecraft/Associated Systems and Decreased Mobility Due to Vestibular/Sensorimotor Alterations Associated with Spaceflight	Sensorimotor
Risk of Impaired Performance Due to Reduced Muscle Mass, Strength & Endurance	Muscle
Risk of Reduced Physical Performance Capabilities Due to Reduced Aerobic Capacity	Aerobic
Risk of Orthostatic Intolerance During Re-Exposure to Gravity	OI
Risk of Spaceflight Associated Neuro-ocular Syndrome (SANS)	SANS
Risk of Adverse Health Effects Due to Host-Microorganism Interactions	Microhost
Risk of Performance Decrement and Crew Illness Due to an Inadequate Food System	Food
Risk of Reduced Crew Health and Performance Due to Hypobaric Hypoxia	Hypobaric Hypoxia
Risk of Radiation Carcinogenesis	Cancer
Risk of Cardiovascular Disease and Other Degenerative Tissue Effects From Radiation Exposure and Secondary Spaceflight Stressors	Degen
Risk of Acute Radiation Syndromes Due to Solar Particle Events (SPEs)	ARS

Risk of Radiation Carcinogenesis (Cancer)

Risk Ratings and Dispositions per Design Reference Mission (DRM) Category

DRM Categories	Mission Duration	Operations		Long-Term Health	
		LxC	Risk Disposition *	LxC	Risk Disposition *
Low Earth Orbit	6 months	1x1	Accepted	3x2	Accepted Within PELs
	1 year	1x1	Accepted	3x2	Accepted Within PELs
Deep Space Sortie	1 month	1x1	Accepted	3x1	Accepted Within PELs
Lunar Visit/ Habitation	1 year	1x1	Accepted	3x3	Requires Mitigation
Deep Space Journey/Habitation	1 year	1x1	Accepted	3x4	Requires Mitigation
Planetary	3 years	1x1	Accepted	3x4	Requires Mitigation

Note: LxC is the likelihood and consequence rating. This risk is mapped to the official (consolidated) HSRB risk "Risk of Adverse Health Outcomes and Performance Decrements resulting from Space Radiation Exposure (Acute, CNS, Degen, Cancer)". The HSRB evaluated the LxC and risk dispositions of this sub-risk for each DRM as part of their review of the consolidated risk.

Risk of Muscle

Short Title: Muscle

Last Published: 07/31/19 10:05:29 AM (Central)

Element: Human Health Countermeasures (HHC)

Evidence: [Report](#)

Risk Master Logic Diagram: [Diagram](#)

Point of Contact: [Andrea Hanson](#)

Risk Ratings and Dispositions per Design Reference Mission (DRM) Category

DRM Categories	Mission Duration	Operations		Long-Term Health	
		LxC	Risk Disposition *	LxC	Risk Disposition *
Low Earth Orbit	6 months	1x4	Accepted/Optimize	3x1	Accepted
	1 year	1x4	Accepted/Optimize	3x1	Accepted
Deep Space Sortie	1 month	1x4	Accepted/Optimize	3x1	Accepted
Lunar Visit/ Habitation	1 year	1x4	Accepted/Optimize	3x1	Accepted
Deep Space Journey/Habitation	1 year	1x4	Accepted/Optimize	3x1	Accepted
Planetary	3 years	3x3	Requires Mitigation	3x2	Requires Mitigation

Note: LxC is the likelihood and consequence rating.

Risk of Team

Short Title: Team

Last Published: 07/31/19 10:05:29 AM (Central)

Element: Human Factors and Behavioral Performance (HFBP)

Evidence: [Report](#)

Risk Master Logic Diagram: [Diagram](#)

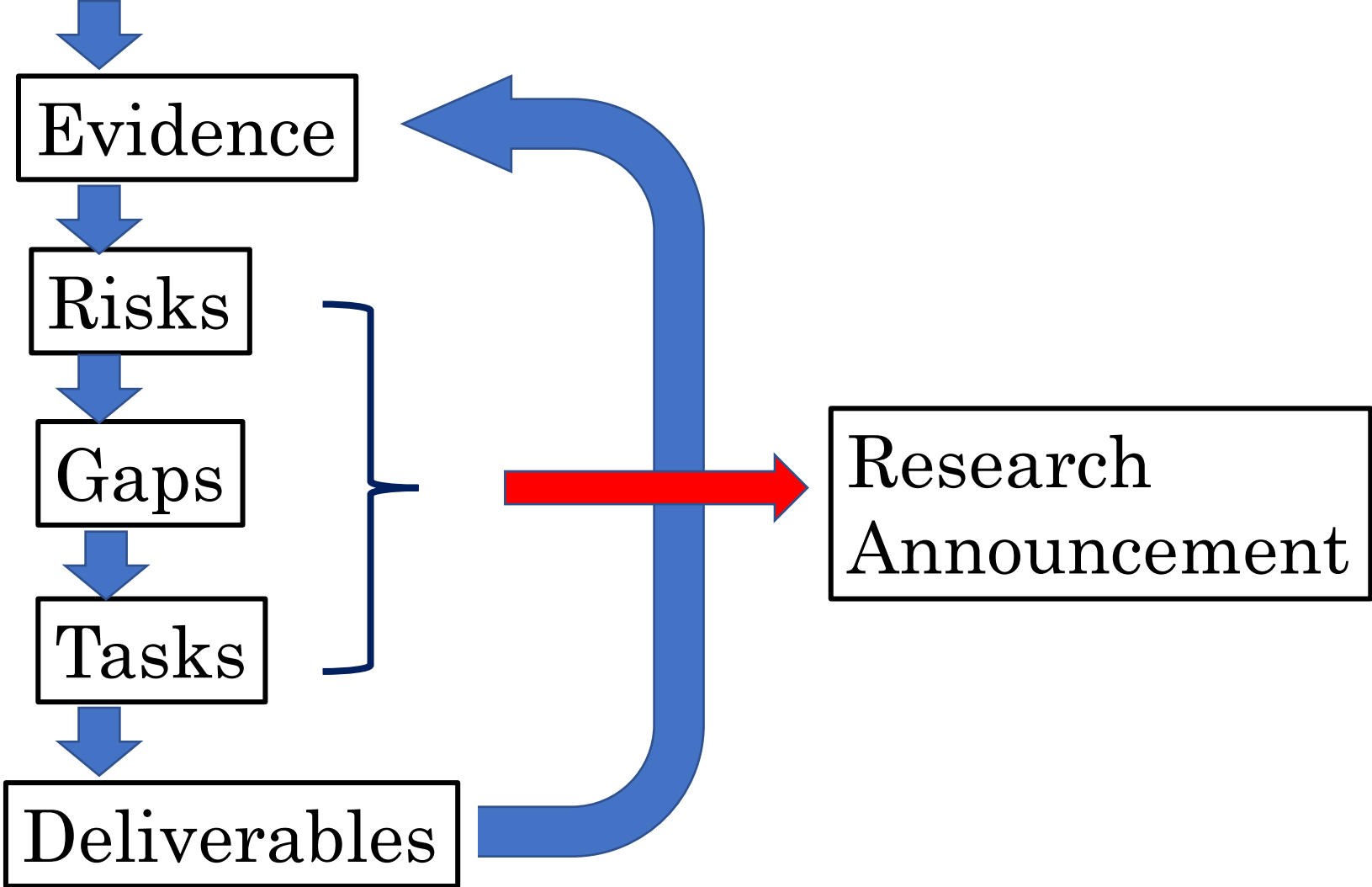
Point of Contact: [Lauren Landon](#)

Risk Ratings and Dispositions per Design Reference Mission (DRM) Category

DRM Categories	Mission Duration	Operations		Long-Term Health	
		LxC	Risk Disposition *	LxC	Risk Disposition *
Low Earth Orbit	6 months	3x2	Accepted with Monitoring	2x2	Accepted
	1 year	3x2	Accepted with Monitoring	2x2	Accepted
Deep Space Sortie	1 month	3x2	Accepted with Monitoring	2x2	Accepted
Lunar Visit/ Habitation	1 year	3x2	Accepted with Monitoring	2x2	Accepted
Deep Space Journey/Habitation	1 year	3x3	Requires Mitigation	2x2	Accepted
Planetary	3 years	3x4	Requires Mitigation	3x2	Accepted with Monitoring

Note: LxC is the likelihood and consequence rating.

Human Research Program Architecture



日本の宇宙医学研究

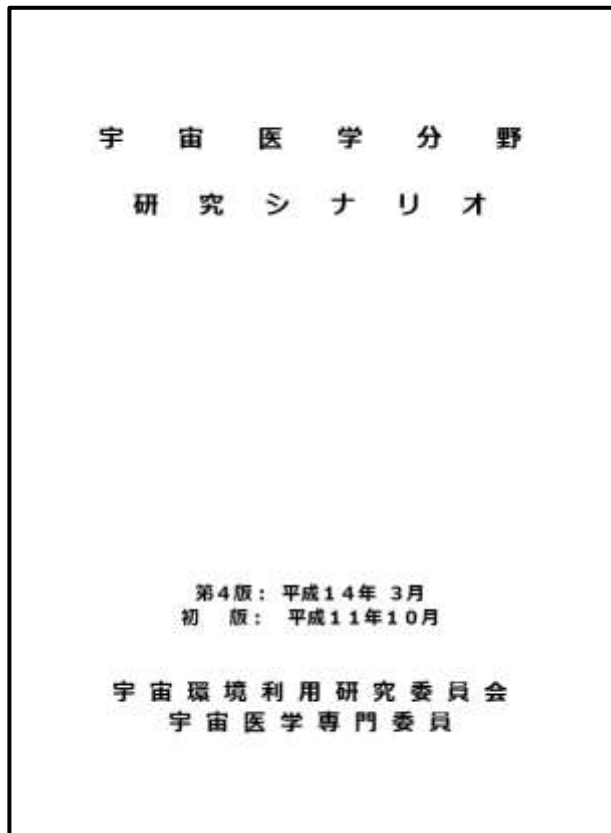
宇宙医学研究シナリオ

<http://iss.sfo.jaxa.jp/utiliz/index.html>

1999～

宇宙医学生物学研究室

2007～



©向井千秋記念子ども科学館

日本のISS利用



超長期有人宇宙滞在技術や
探査技術等の研究開発の推進

- ・ 国の科学技術イノベーション戦略に
 応えるロボット利用・応用技術及び 宇
 宙実験自動化技術の推進
- ・ 補給量の削減により、ミッションコス
 トを大きく低減する完全再生型環境
 制御／生命維持技術
- ・ 放射線計測及び防護技術
- ・ 宇宙飛行士の健康管理技術

科研費「宇宙に生きる」 FY2015～2019



領域代表；
古川飛行士

Photo by JAXA

Moon or Mars

Moon Base



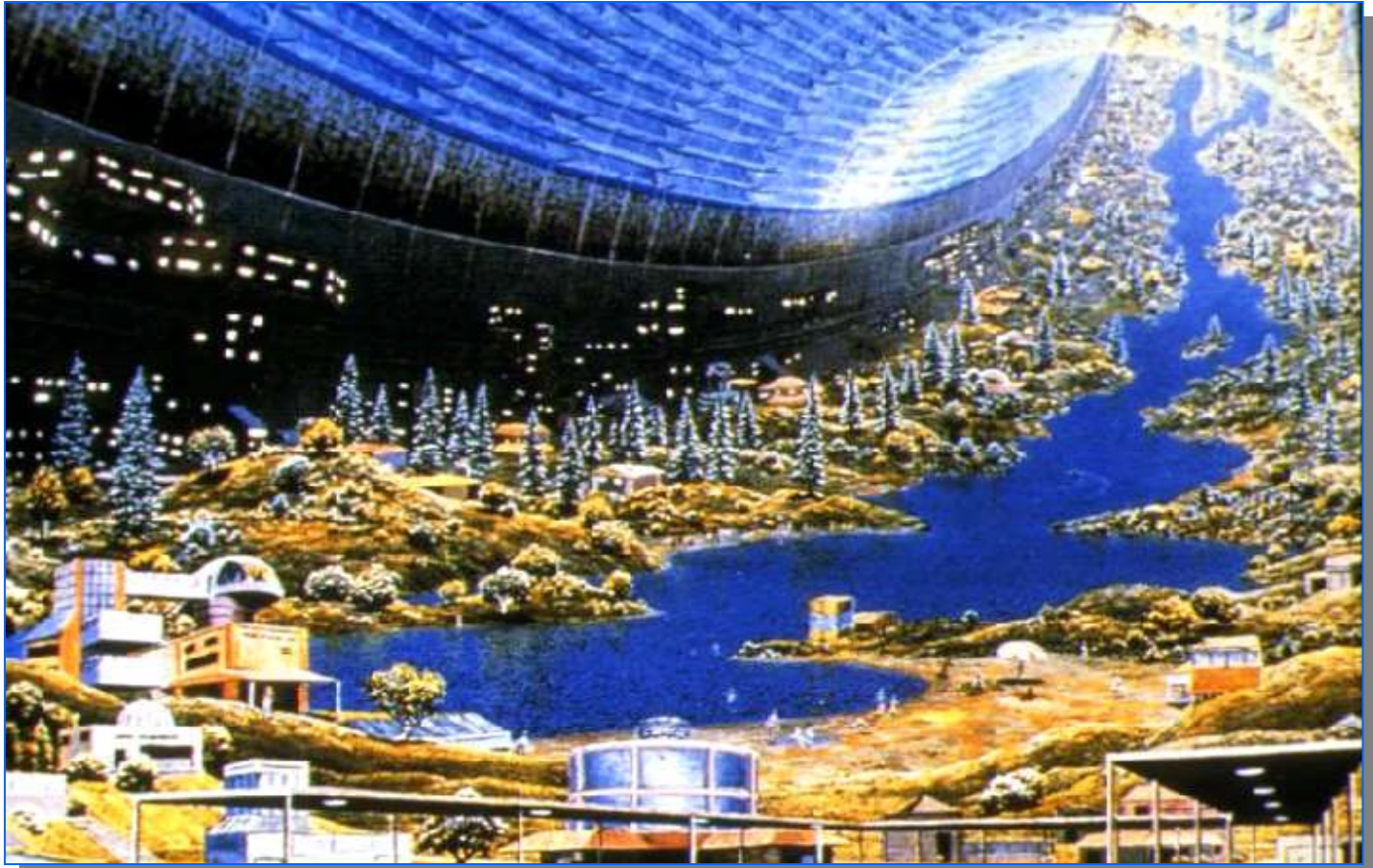
Mars Mission



Photo by JAXA

Final Goal of Human Space Development

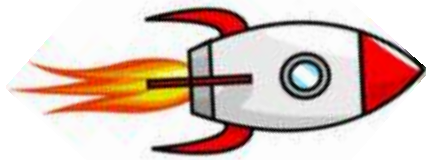
Space Colony



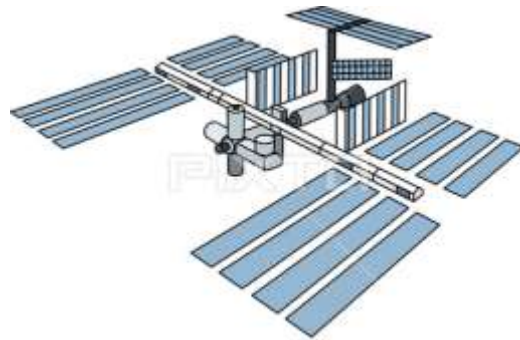
Photo; Wikipedia

Gateway

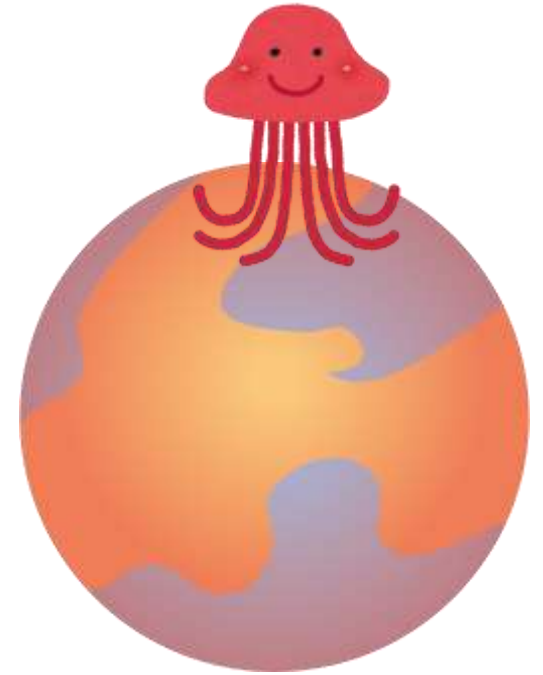
Earth



Moon



Mars



Why Space Colony ?

For Going to
Deep Space



Back Up System
of the Earth



Biosphere 2 (USA, Arizona)



1991 - 1993

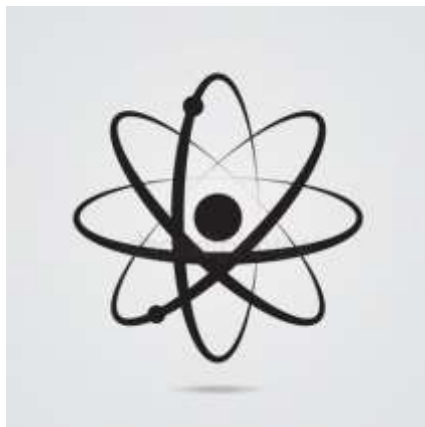
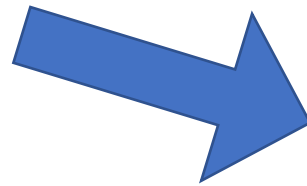
Photo by Johndedios,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=16883643>

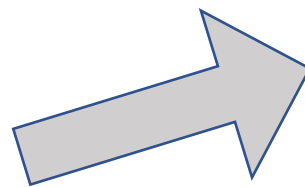
Energy Source of Space Colony



Sun



Nuclear
Fusion



Space Colony

Death Star
By 'Star Wars'

長期宇宙滞在に関わる健康上の問題点

- 重力
- ヒューマン・ファクター
- 宇宙放射線
- Reproduction

重力に関わる健康上の問題

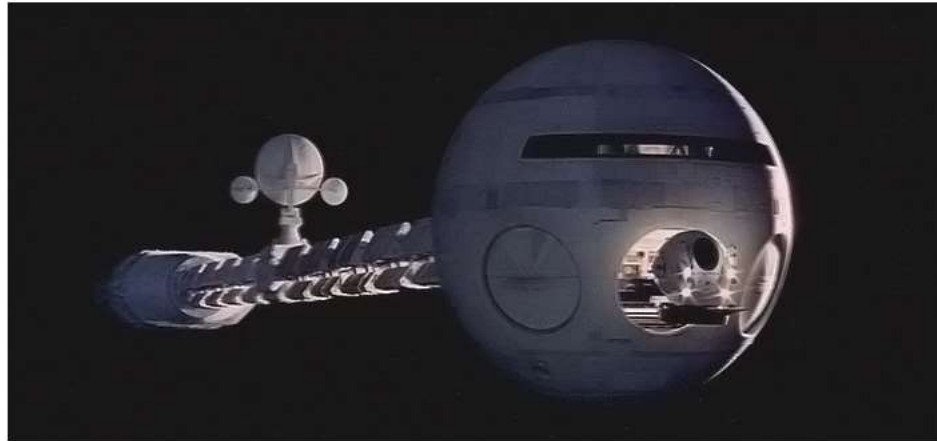
長期宇宙滞在 → 人工重力の必要性

- 微小重力 → 重力環境への移行時
地球への帰還、月・火星等への着陸時
- 低重力長期滞在の問題
月：1/6G、火星：3/8G、Space Colony (?)

人工重力

ディスカバリー号

(映画「2001年宇宙の旅」より)



平衡感覚：加速度、重力を感じ、体の バランスを保つ感覚

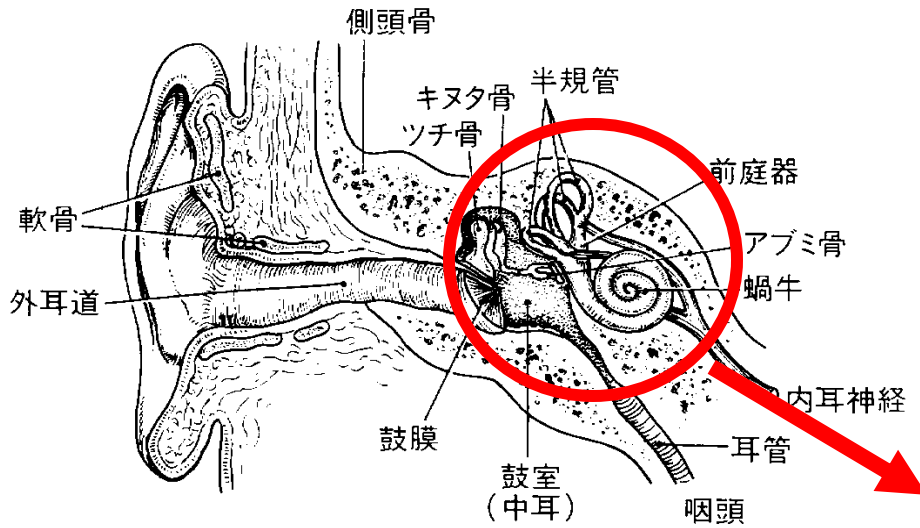


図6-6 聴器の縦断面

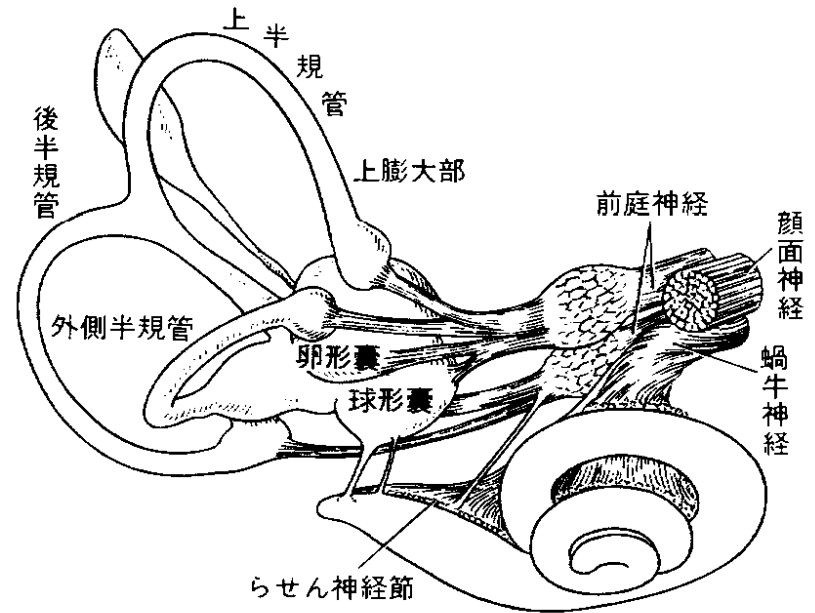


図8-36. 迷路

宇宙空間での方向感覚

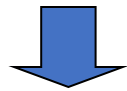
空間識 (Spatial Orientation)

位置・方向 (X、Y、Z軸)、加速度の感覚

視覚

平衡感覚 — 微小重力下では重力刺激が無い

体性感覚 (位置覚)



空間識失調 (感覚混乱)

→ 宇宙酔いの原因の一つと考えられている

自衛隊戦闘機墜落事故 (2019年4月9日)

F-35A



原因：
パイロットの空間
識失調の可能性
が高い

写真：航空自衛隊報道資料（2019年6月10日）

宇宙空間での方向感覚



天井側だけに照明をつける

上下感覚の必要性

写真：
NASA提供

長期間低重力の問題

Moon



$1/3$ G

Mars



$3/8$ G

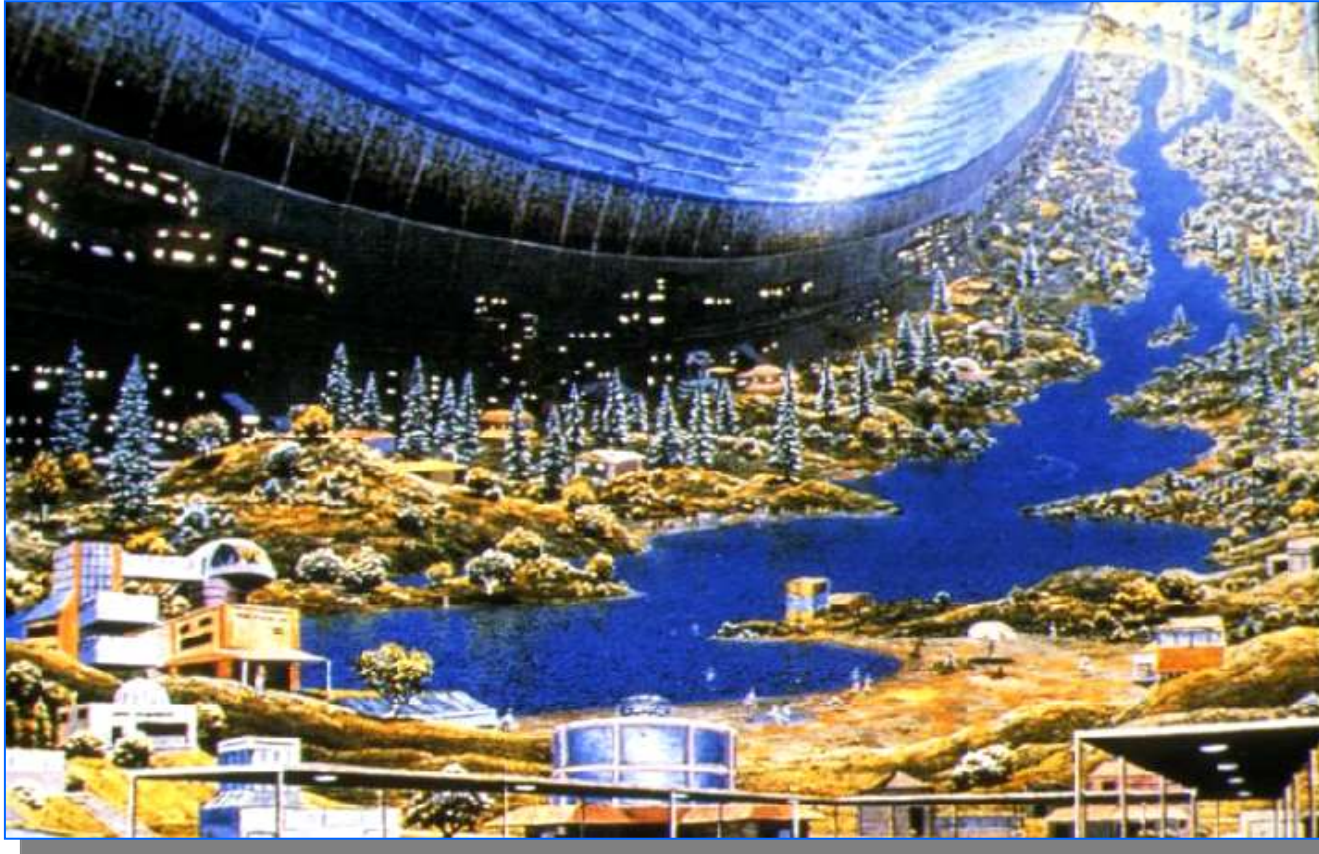
Space
Colony



What G ?

Death Star
By 'Star Wars'

Human Factors



Space Colony → 居住者 100人 ~ (?)

Photo; Wikipedia

火星ミッションにおける精神心理

○地球からの情報伝達の遅延・制限



情報隔離



火星ミッションにおける精神心理

○地球からの情報伝達の遅延・制限

→ 情報隔離

○長期間のミッション(> 3年?)

→ 人工冬眠(?)



ディスカバリー号
(映画「2001年宇宙の旅」より)



人工冬眠研究者
石岡憲昭教授(JAXA : 当時)

宇宙放射線

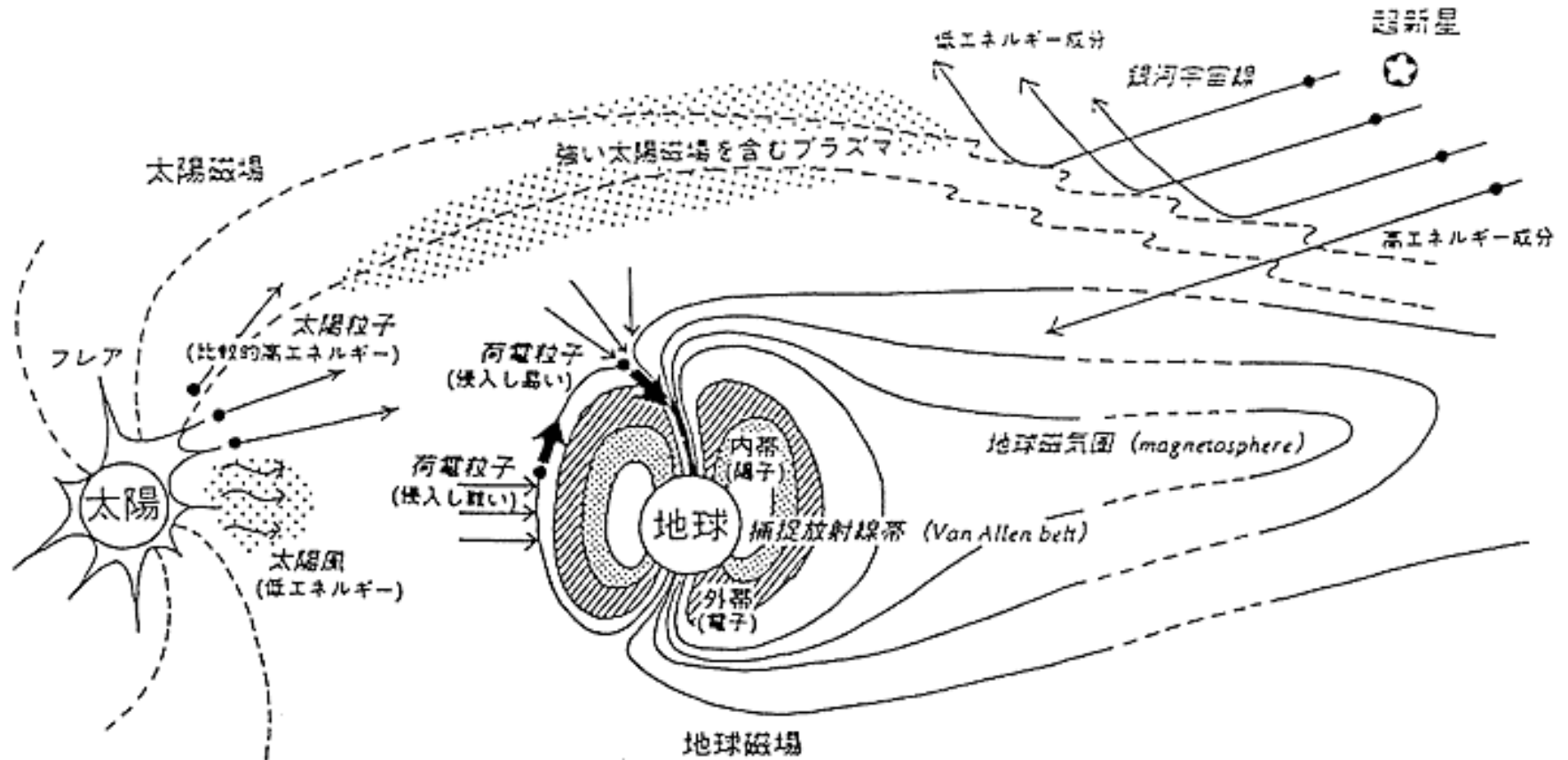
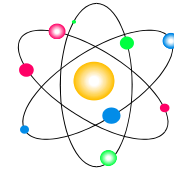
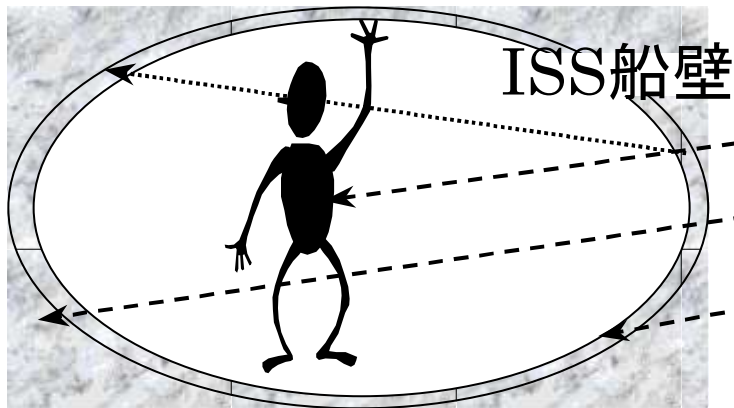


図2-1 宇宙放射線環境の概略

* 日本原子力学会の許諾を得て転載 (c)1993

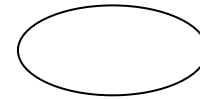
宇宙放射線の影響



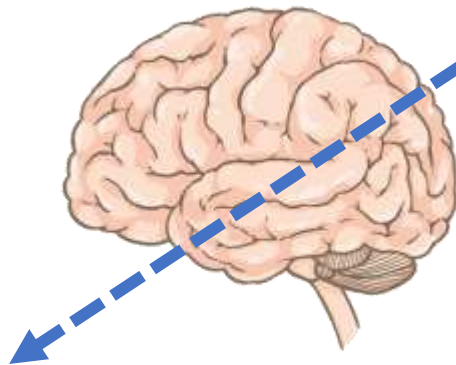
銀河宇宙線



太陽粒子現象



捕捉放射線



※ Eye Flash現象

確率的影響

③JAXAで制定した制限値

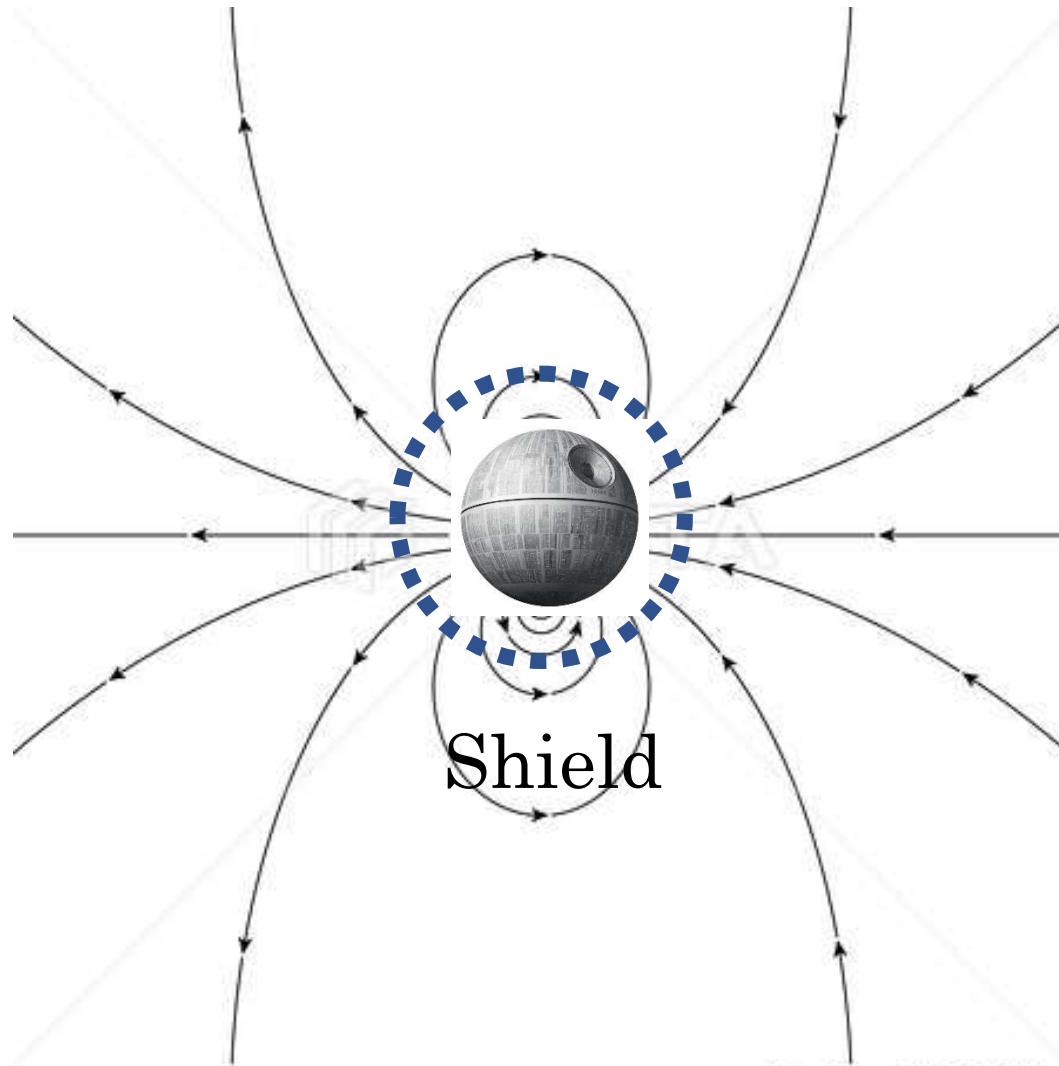
生涯実効線量制限値(全身)

初めて宇宙 飛行を行った 年齢	女		男	
		(リスク)		(リスク)
27-29	600	(3.2%)	600	(2.9%)
30-34	800	(3.1%)	900	(3.1%)
35-39	900	(3.1%)	1000	(3.1%)
≥40	1100	(3.0%)	1200	(3.1%)

(単位:ミリシーベルト)

* リスク:放射線被曝により、がんで死亡する確率

Protection against Radiation



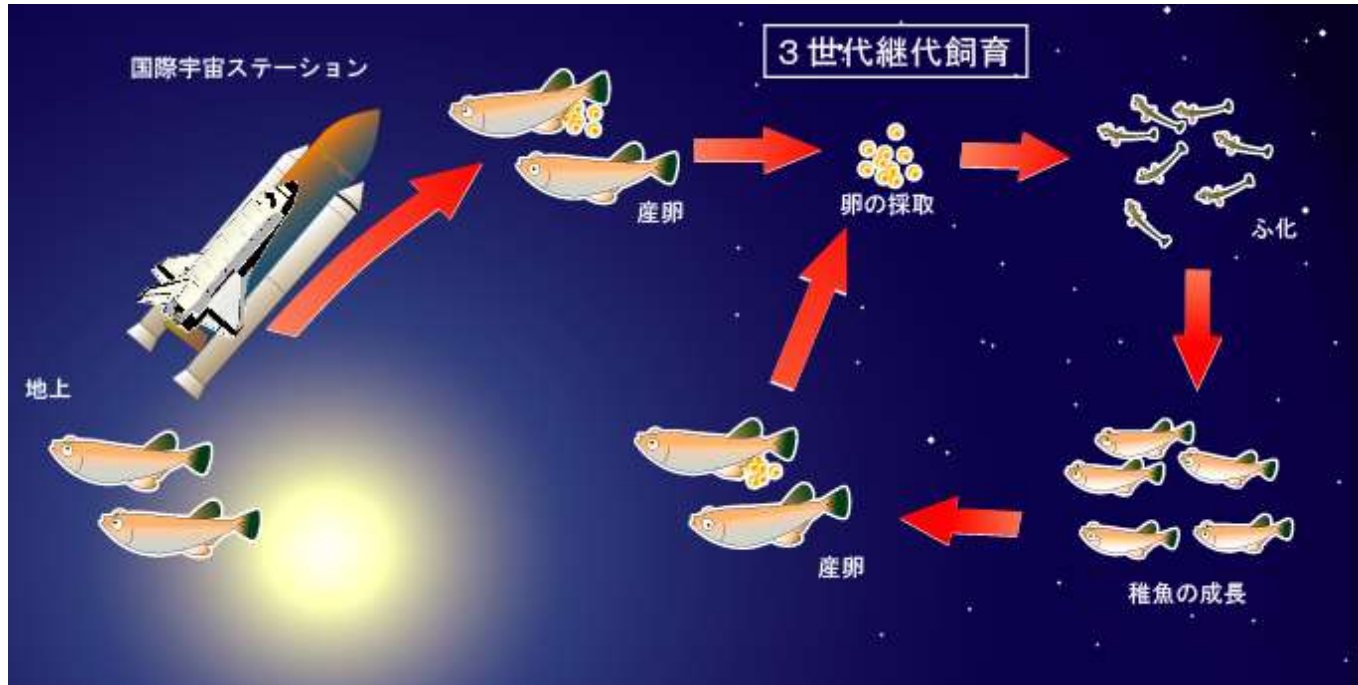
Artificial
Magnetic
Field

Artificial
Human

Shield

Death Star
By 'Star Wars'

Reproduction



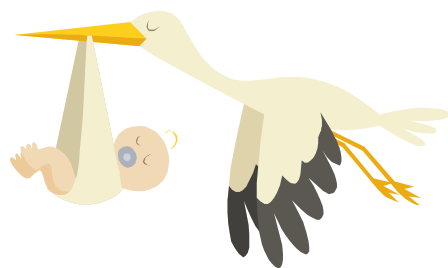
水棲生物飼育 (JAXA)

ヒトの場合

妊娠

出産

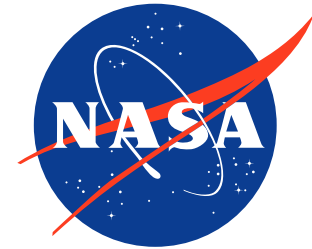
成長



重力
放射線
人工環境

Space Colony: その推進役は？

宇宙機関？



国家機関？



Elon R. Musk

Horiemon

ノアの方舟

民間？



Thank you for your attention !

<m(_ _)m>



有人宇宙開発は、
牛歩かな(?)
でも、着実に!