



第6回月測位研究会
2024年2月6日
JAXA東京事務所+オンライン



月地球圏の測位とルール形成： 月基準座標と低軌道活用

一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構
衛星測位事業本部 利用開拓部長
博士(工学) 浅里幸起



衛星測位の国際標準



- ① デジュール標準
 - 条約・協定など国際法が根拠 (例) **WTO協定**
 - 例: **ISO, IEC**, ITU, ICAO, IMO, IHO 等
- ② フォーラム標準
 - 民間フォーラムが根拠
 - 例: **RTCM, NMEA**
- ③ デファクト
 - 支配的な市場シェアが根拠
 - 例: **Android** GNSS APIs, **iPhone** GNSS APIs

技術標準が元になり、国際条約が作られてきた歴史

- RTCA (1935) → ICAO (1947), RTCM (1947)

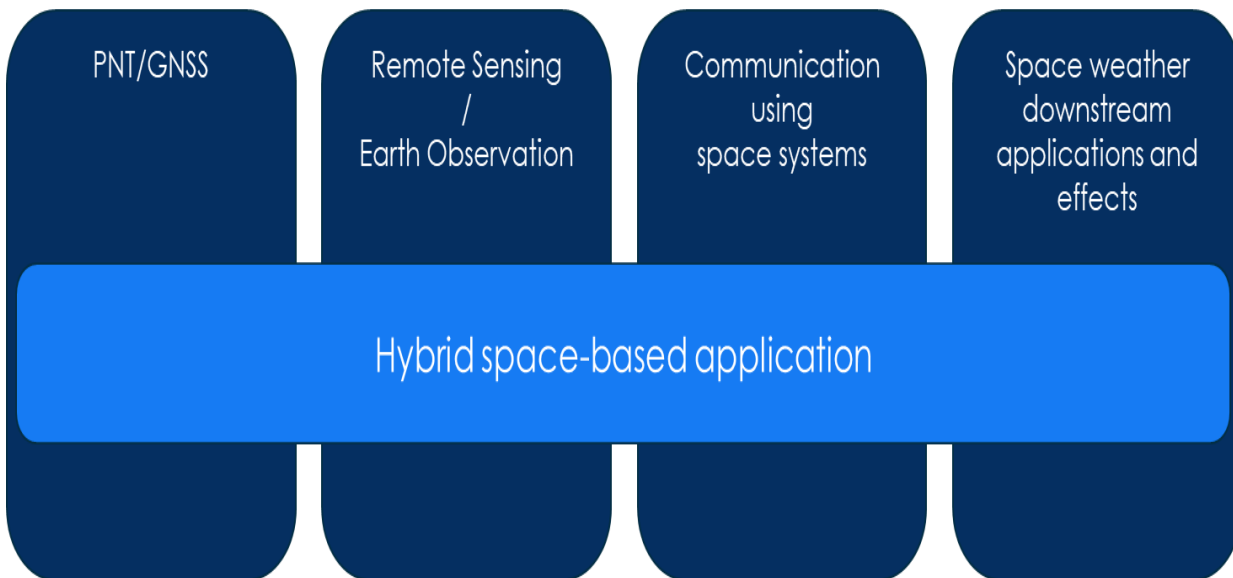


WG8: 宇宙利用サービス

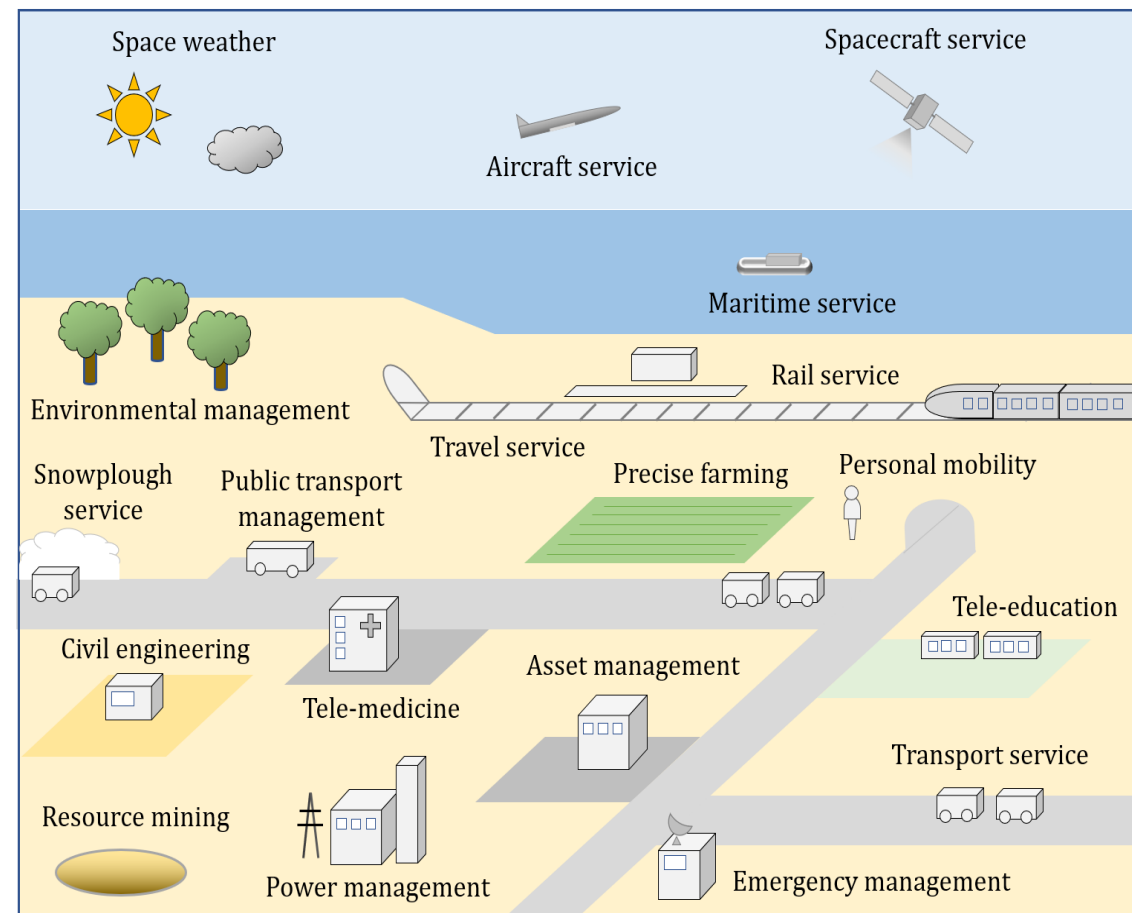


2022年9月、ISO/TC 20/SC 14 “Space systems and operations” に
WG8: Downstream Space Services and Space-based Applications 創設

ISO-TC20-SC14-WG8 Downstream space services and space-based applications(*)

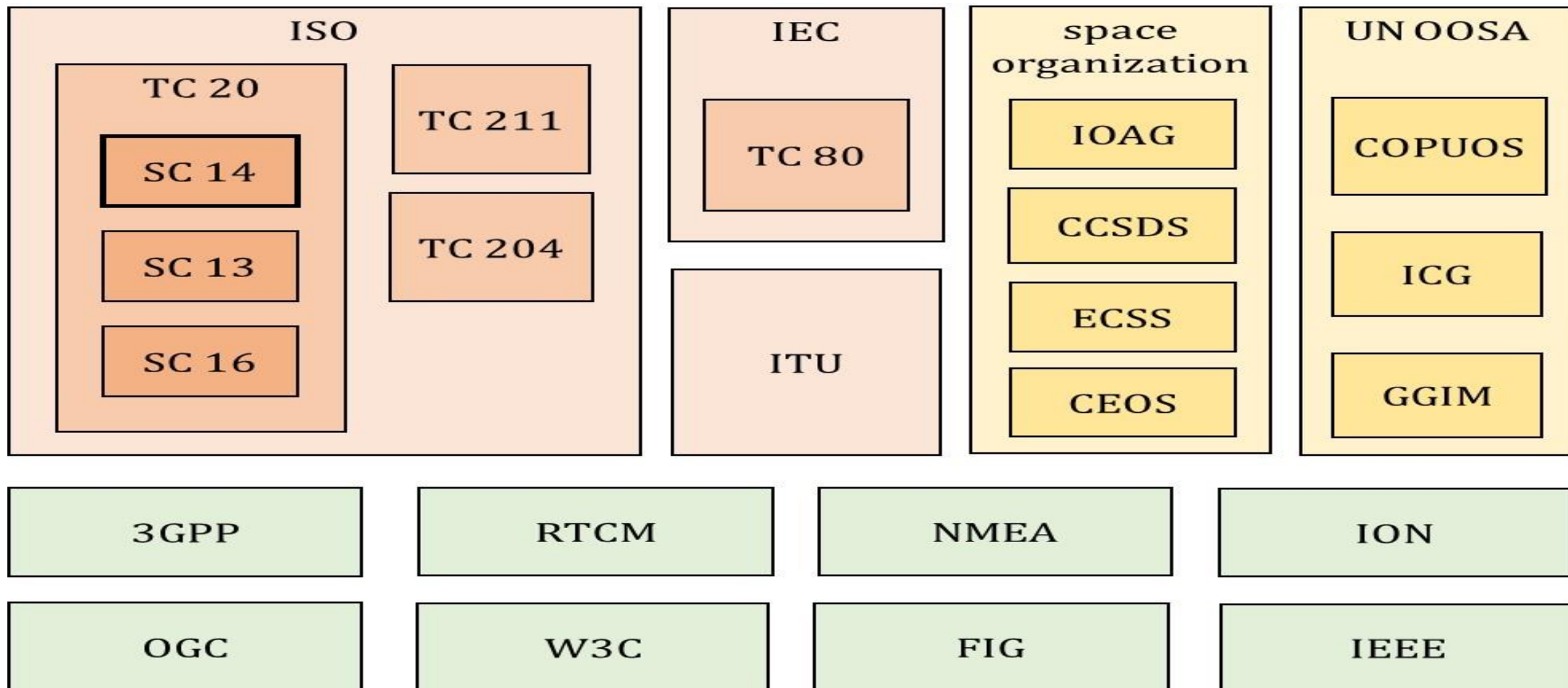


(*) for Terrestrial, Maritime, Aeronautical, Space domains





WG8:宇宙利用サービス 協力関係組織

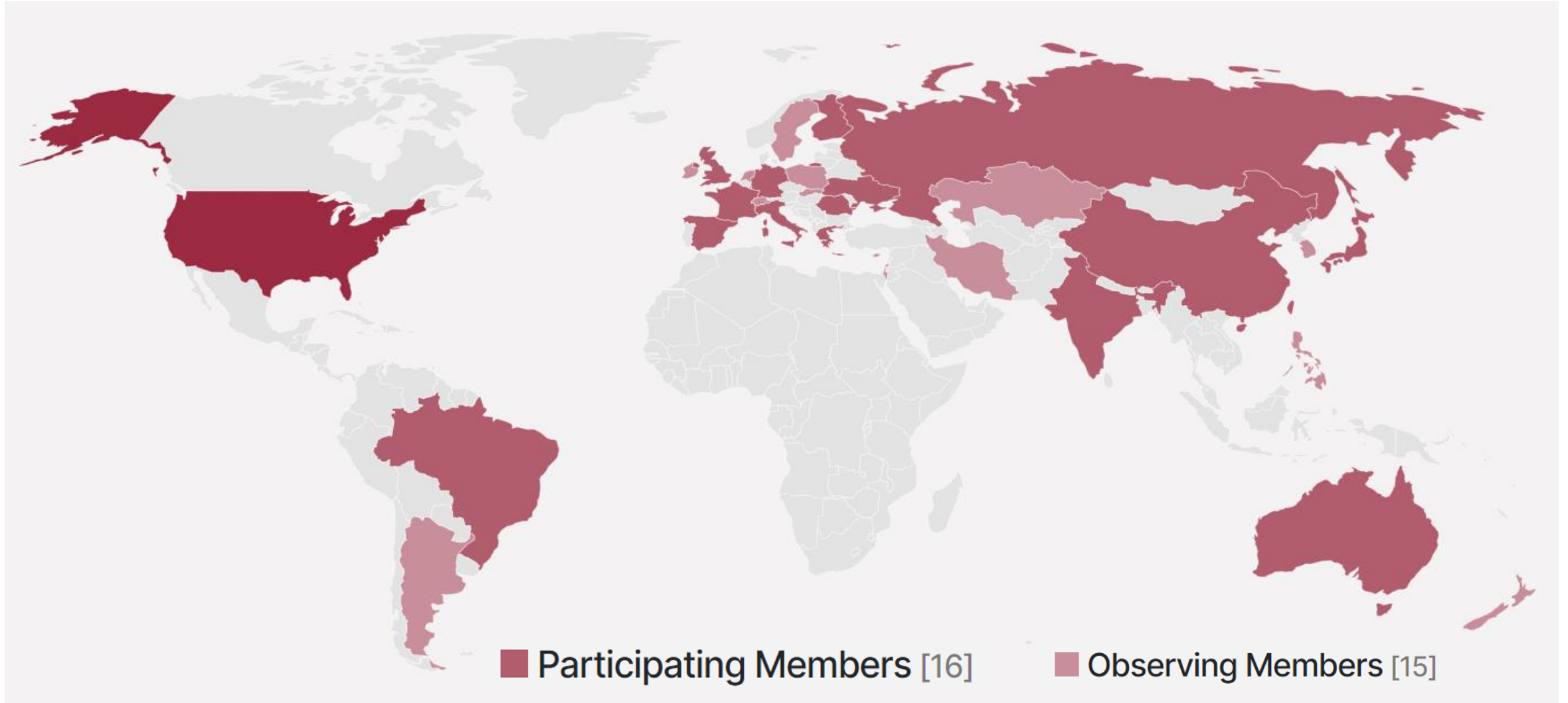




ISO/TC 20/SC 14 Space systems



Let's take part in this committee from Asia-Pacific nations.





月基準座標系の提案



- ◆ 月面の産業化が進むも、座標系のような基本的なインフラがない。
- ◆ 過去の科学的成果のベストプラクティスを共通標準として利用：
 - NASA ジェット推進研究所(JPL) が開発
 - 「DE421座標系」を採用
 - 日本の月面地図(NAOJ/JAXA/GSI, 2008)も採用
- ◆ 米国が開発するも国際ルール形成は遅延。日欧/産業界で補完(2024)。
- ◆ 基準座標系：
 - 定義(Definition) 月回転系に関する科学的成果に基づく
 - 実現(Realization) 月面に配置したレーザ反射器が基準点



月基準座標系の概要

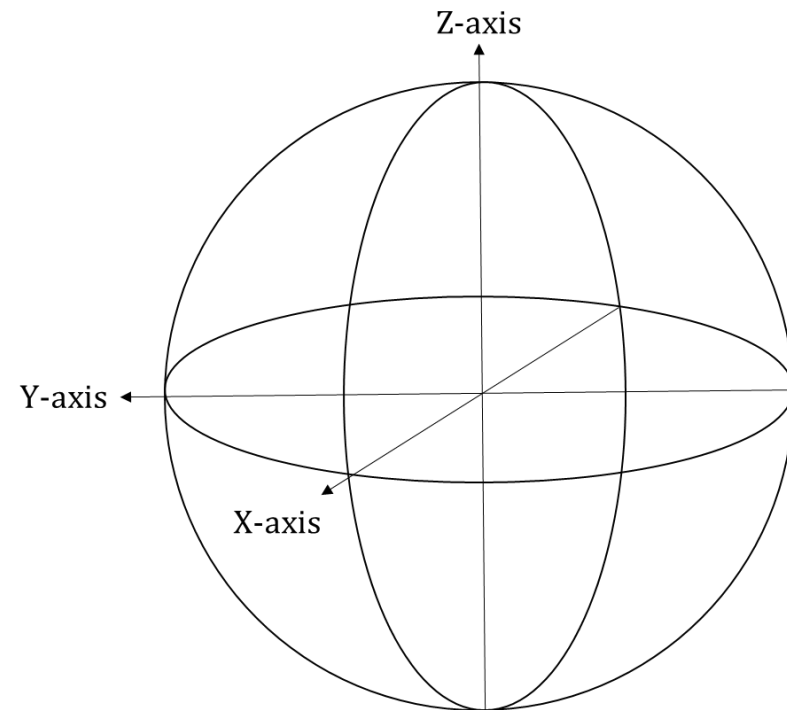


◆ 定義 Definition

- 北極-南極を結ぶ平均回転軸
- 南北は太陽系全体で定義
- 地球の重力方向が経度ゼロ
- 準楕円体: 半径1,734,400 [m] の球体

◆ 実現 Realization

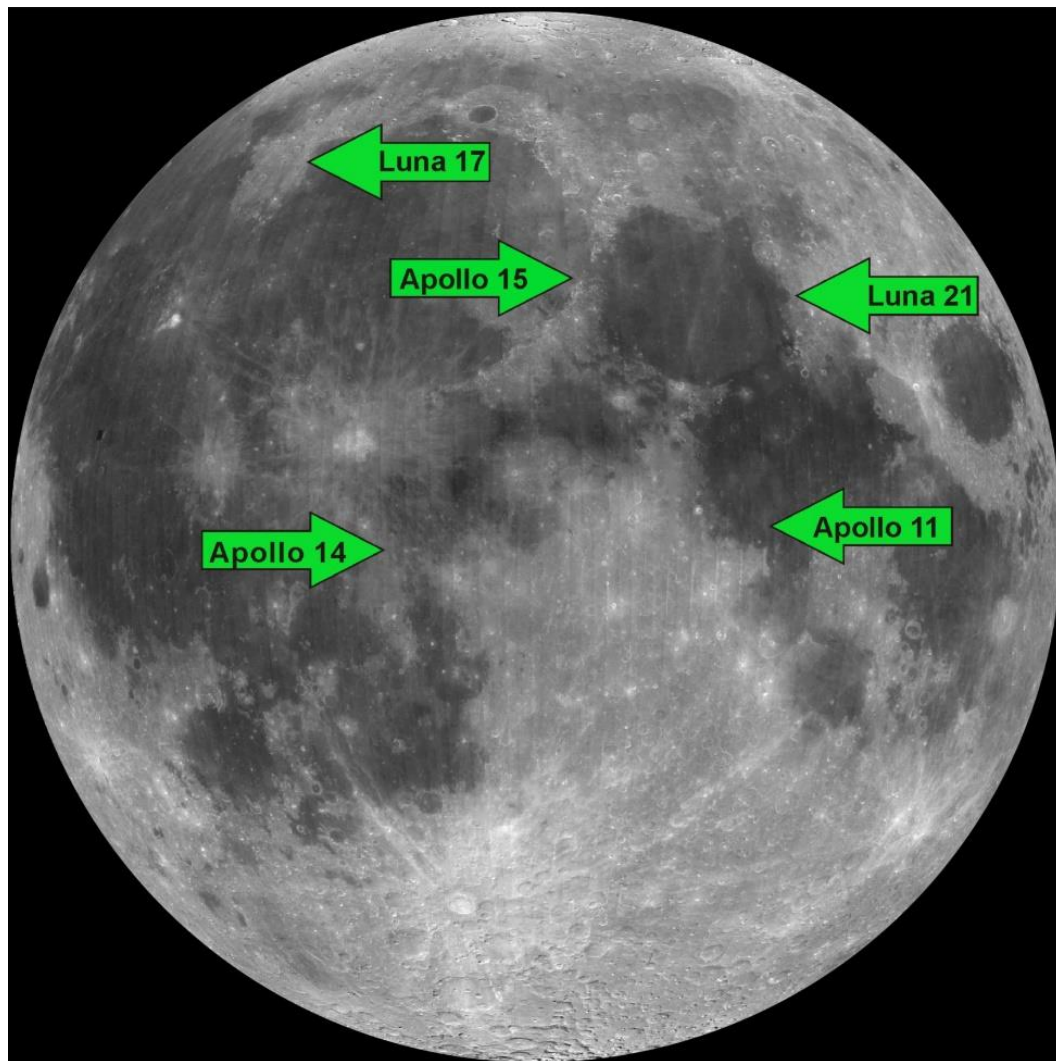
- 過去のレーザ反射器の利用
- 現在はNASAが供給し、米・日・印・民間の着陸機で活用
- DE421座標系では、アポロ・ルナの4点
- 今後はレーザ反射器の設置は増加
- 無指向性の電波型電子基準点に移行





月基準座標系の実現

<Realization>

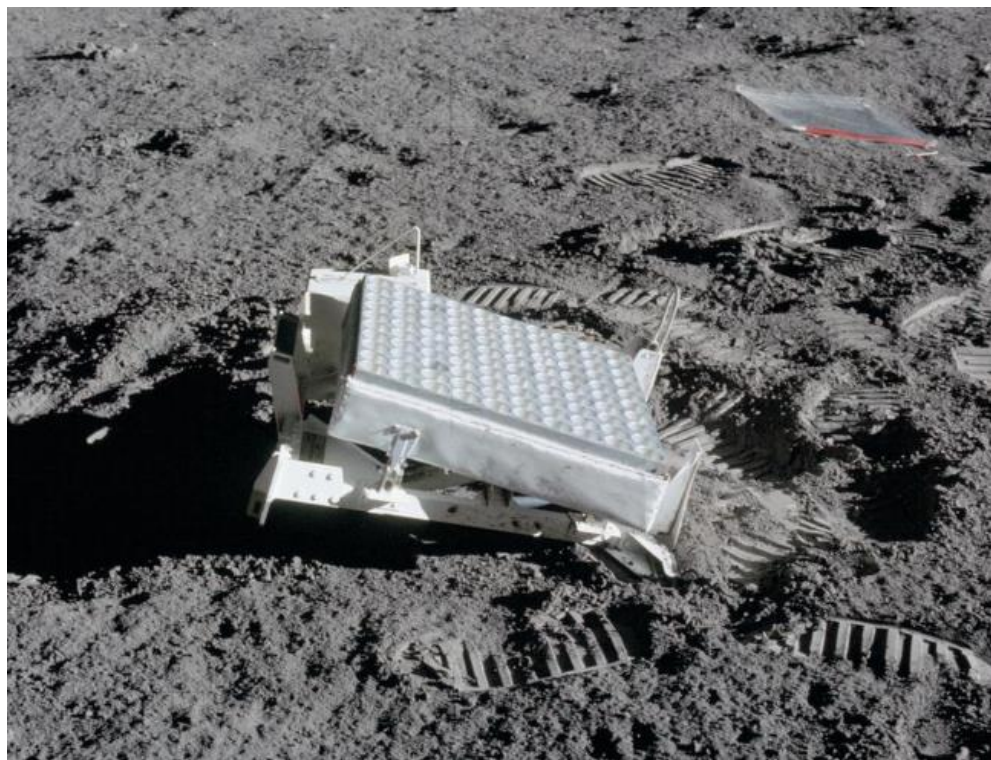


No.	Mission	X [m]	Y [m]	Z [m]
A11	Apollo 11	1591747.845	691222.345	20397.830
A14	Apollo 14	1652818.934	-520454.721	-110361.346
A15	Apollo 15	1554937.875	98605.140	764412.735
L21	Luna 21	1339388.500	802310.872	755849.325

No.	Mission	動径 [m]	経度 [deg]	緯度 [deg]
A11	Apollo 11	1735472.732	23.4730729	0.6734398
A14	Apollo 14	1736336.135	-17.4786483	-3.6441703
A15	Apollo 15	1735477.340	3.6285073	26.1333959
L21	Luna 21	1734639.009	30.9221489	25.8323070



レーザー反射器



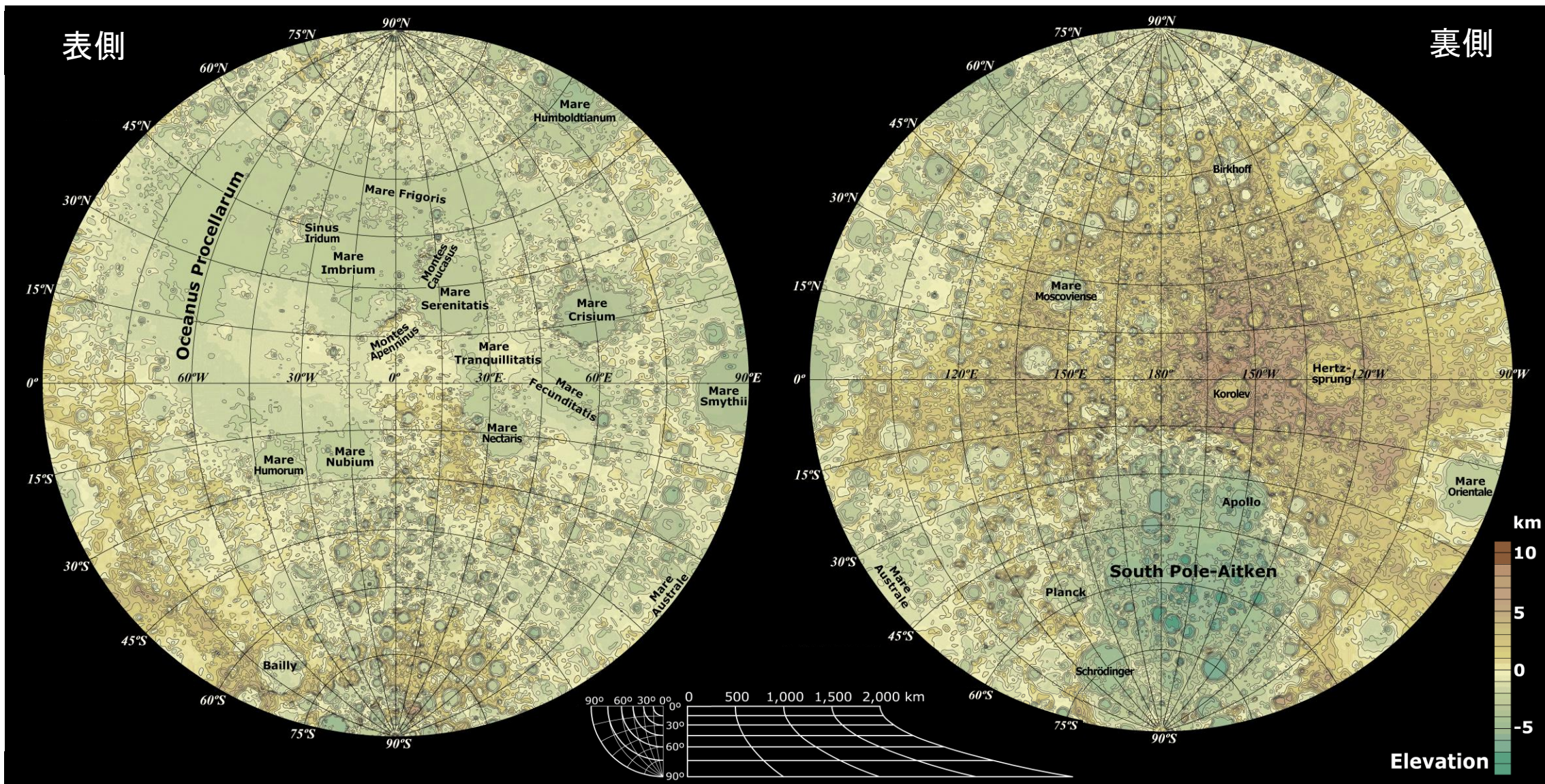
月面に設置されたリトロリフレクター(NASA)



月着陸機に設置されたリトロリフレクターアレー(NASA)



Annex: 日本で開発した地図





参考文献

Bibliography



- [1] Goddard Space Flight Center. *A Standardized Lunar Coordinate Systems for the Lunar Reconnaissance Orbiter and Lunar Datasets*, LRO Project and LGCWG White Paper Version 5, National Aeronautics and Space Administration, 2008
- [2] W. M. Folkner, J. G. Williams, and D. H. Boggs. *The Planetary and Lunar Ephemeris DE 421*, JPL Memorandum IOM 343R-08-003, 2008
<ftp://ssd.jpl.nasa.gov/pub/eph/planets/ioms/de421iom.pdf>
ftp://naif.jpl.nasa.gov/pub/naif/generic_kernels/spk/planets/de421_announcement.pdf
- [3] J. G. Williams, D. H. Boggs, and W. M. Folkner. *DE421 Lunar Orbit, Physical Librations, and Surface Coordinates*, JPL Memorandum IOM 335-JW, DB, WF-20080314-001, 2008
ftp://ssd.jpl.nasa.gov/pub/eph/planets/ioms/de421_moon_coord_iom.pdf
ftp://naif.jpl.nasa.gov/pub/naif/generic_kernels/spk/planets/de421_lunar_ephemeris_and_orientation.pdf
- [4] Archinal et al., *Report of the IAU Working Group on Cartographic Coordinates and Rotational Elements:2015*, Article number:22(2018), 2018
- [5] R. S. Park et al., *The JPL Planetary and Lunar Ephemerides DE440 and DE411*, The Astronomical Journal, American Astronomical Society, 2021
- [6] G. H. Heiken, D. T. Vaniman, and B. M. French, eds, *The Lunar Source Book: A User's Guide to the Moon*, Cambridge University Press, 1991
- [7] D. E. Wilhelms, *The Geologic History of the Moon*, U.S. Geological Survey Professional Paper, no. 1348. Washington, D. C.; U. S. Government Printing Office, 1987
- [8] W. D. Compton, *Where No Man Has Gone Before: A History of Apollo Lunar Exploration Missions*, NASA Special Publication, no. 4214. Washington, D. C.: U. S. Government Printing Office, 1989
- [9] D. E. Bowder and J. K. Hughes, *Lunar Orbiter Photographic Atlas of the Moon*. NASA Special Publication, no. 206. Washington, D. C.; U. S. Government Printing Office, 1971
- [10] Antonin Rulk. *Hamlyn Atlas of the Moon*, edited by T. W. Rackham. London: Raul Hamlyn Publishing, 1991
- [11] National Geographic Society. *The Earth's Moon*, 2nd ed. Washington, D. C.: Cartographic Division, National Geographic Society, 1976



プロジェクト工程表(計画)



No.	題目	2024年度		2025年度		2026年度	
		上期	下期	上期	下期	上期	下期
1	ISO/TC 20/SC 14国際会議	▽ベルリン	▽パリ	▽東京	▽?	▽?	▽?
2	月の座標基準系の共通化	作業開始	▽NP 登録		▽AWI 通過		▽CDC 開始
3	月面の地図図法の規定	作業開始	▽NP 登録		▽AWI 通過		▽CDC 開始

◆ 月の基準座標系」初期ドラフト案の国際レビュー(意見募集)を開始
 2024年2月中旬～3月末, 宇宙利用ユーザープラットフォーム(SBIC) 月測位研究会/標準化WG合同

注 AWI: Approved Work Item, CD: Committee Draft (委員会原案), CDC: CD with Consulting,
 CIB: Committee Internal Ballot, DIS: Draft International Standard (国際標準原案), NP: New Proposal



地球低軌道の測位活用



- ◆ 準天頂衛星システム (QZSS) との連携
準天頂: 伝搬路雑音最小となり測位差分計算で主衛星と設定
低軌道衛星によって、全世界を準天頂衛星化
学術・技術的な研究開発が必要
- ◆ レイヤ分離の必要性: 国のIT宇宙インフラ vs 競争分野
- ◆ 2000年代の教訓
半導体システム化によって、量産シェアを米 Qualcomm 社が独占
自分の分野だけ見るのではなく、必要な分野の統合が必要

成功の鍵: 出来ることをするとの発想ではなく、すべきことを実施する発想
「出来ること」と「すべきこと」の“ギャップ”の克服が課題



まとめ



- ◆ 日米欧中露等で月面産業化が進むも共通の基準座標系がない
- ◆ NASA のベストプラクティス学術成果に基づき、日本提案で産業標準化
フランス/欧州が議長としてサポート
- ◆ 現行のベストプラクティスとして、JPL による DE421 座標系 を選定
- ◆ 日米欧の宇宙機関及び科学者の活動をリスペクトし成果活用
国際標準成立後も5年ごとに国際的なシステムティック・レビューを実施
- ◆ 地図図法の研究開発に適用
- ◆ 国内で官民全員参加のレビューを開始

ご質問は J-spacesystems 浅里 (asari-koki@jspacesystems.or.jp) まで



略語



3GPP: 3rd Generation Partnership Project (移動通信)
API: Application Program Interface
CCSDS: Consultative Committee for Space Data Systems
CEOS: Committee on Earth Observation Satellite
ECSS: European Cooperation for Space Systems
FIG: Federation Internationale des Geomatres (仏語)
GGIM: Global Geospatial Information Management
GNSS: Global Navigation Satellite System
GSI: Geospatial Information Authority of Japan
ICAO: International Civil Aviation Organization
IEC: International Electrotechnical Commission
IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineers
IHO: International Hydrographic Organization
IMO: International Maritime Organization
IOAG: Interagency Operations Advisory Group
ION: Institute Of Navigation
ISO: International Organization for Standardization
ITU: International Telecommunication Union

JAXA: Japan Aerospace Exploration Agency
JPL: Jet Propulsion Laboratory (NASA)
NAOJ: National Astronomical Observatory of Japan
NASA: National Aeronautics and Space Administration
NMEA: National Marine Electronics Association (US)
OCG: Open Geospatial Consortium
RTCA: Radio Technical Commission for Aeronautics
RTCM: Radio Technical Commission for Maritime Services
SC: Sub-committee (ISO/IEC)
SC: Special Committee (RTCM)
TC: Technical Committee
UN: United Nations
OOSA: Office for Outer Space Affairs
W3C: World Wide Web Consortium
WG: Working Group