

文部科学省 科学技術人材育成費補助事業 データ関連人材育成プログラム
第7回データアントレプレナーカンファレンス
- データサイエンスと宇宙科学 -

惑星間インターネットの進歩

Advance of Interplanetary Internet

2022年1月17日

清洲 正勝

Masakatsu KIYOSU

目次

1. はじめに
2. 惑星間インターネット
3. 宇宙データ
4. 小史
5. 通信区間
6. 宇宙通信方式
7. バンドルプロトコル
8. 遅延耐性ネットワーク
9. ネットワーク効果
10. 衛星測位と地図データ
11. 世界観
12. まとめ

はじめに

本講演は，宇宙データや惑星間インターネットの
基本と進歩について多角的に解説．

惑星間インターネット

米航空宇宙局（NASA）の Adrian Hooke が提唱し，インターネットプロトコル TCP/IPを開発した Vinton Gray Cerf が中心となって研究開発している技術の総称．

地球を覆うネットワークの距離よりも遥かに長い距離を通信する場合に，従来のTCP/IPではその活用に限界があると考えられる．宇宙空間では，遅延時間，通信遮断，データ損失が高い頻度で想定される．遅延時間を解消するレーザー通信，通信遮断やデータ損失を解消する遅延耐性ネットワークは，世界中の宇宙及び通信の研究所で研究されている．

1. ISOC IPNSIG, <https://ipnsig.org/>

宇宙データ

表：宇宙・地球のオープンデータ例

| データ | 組織 |
|--|------------------|
| 天文データアーカイブ | 国立天文台 |
| 観測・研究成果データベース | 宇宙航空研究開発機構（JAXA） |
| 宇宙天気予報センター | 情報通信研究機構（NICT） |
| 過去の気象データ | 気象庁 |
| 宇宙データプラットフォーム Tellus <small>（政府衛星データのオープン&フリー化及びデータ利活用環境整備・データ利用促進事業）</small> | 経済産業省 |
| Open Data Portal | 米航空宇宙局（NASA） |
| Solar Dynamics Observatory Data | 米航空宇宙局（NASA） |
| Earth Data | 米航空宇宙局（NASA） |

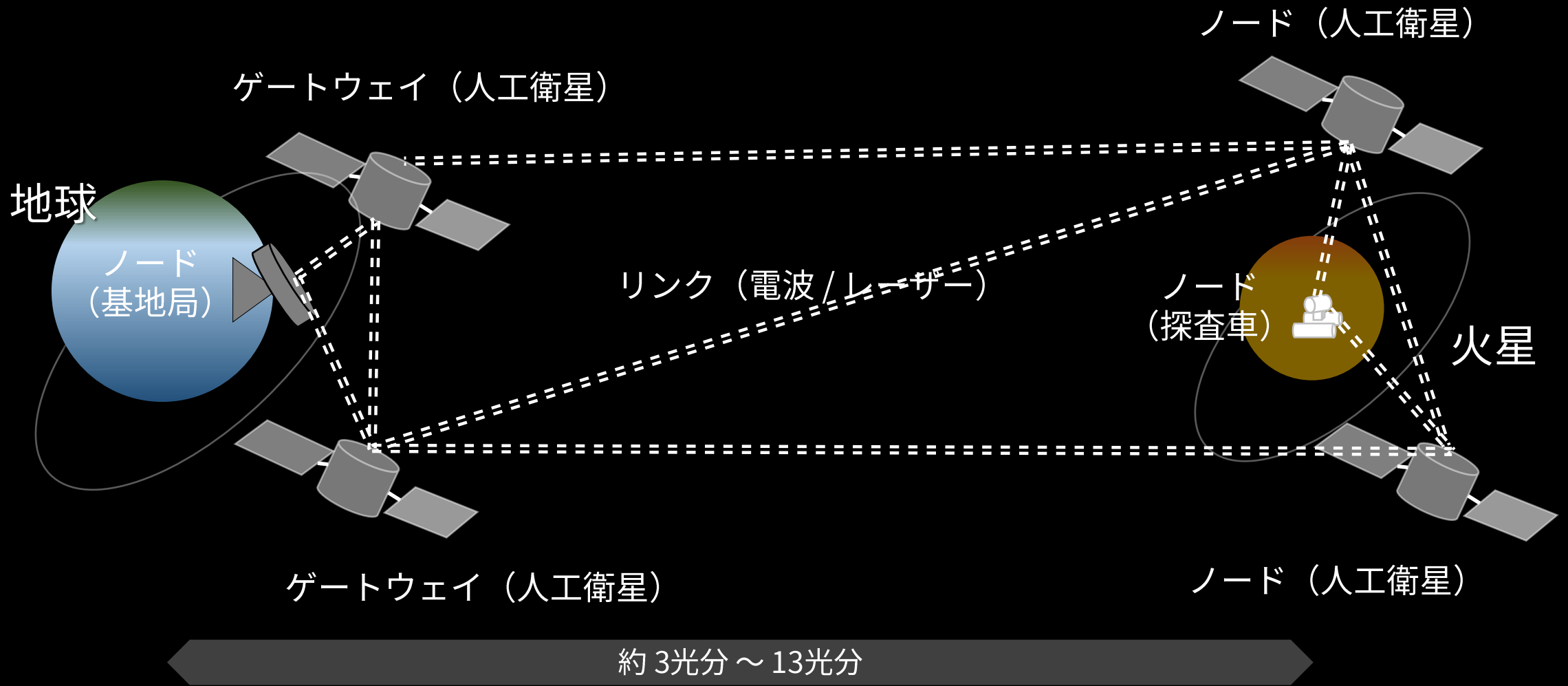
- 電波望遠鏡や人工衛星で観測，計測されたビッグデータのオープン化事例。

小史

- 2001年にIETF (The Internet Engineering Task Force) に、惑星間インターネットの Working Draft を提出。
- 2006年3月, NICTとJAXAが、世界初の低軌道通信衛星きらり・地上間 (約610km) のレーザー通信に成功。
- 2008年1月, NASAは、衛星UK-DMC・地上間 (約680km) によるバンドルプロトコルの実験に成功。
- 2010年1月, 国際宇宙ステーション (ISS) に Crew Support LAN が開通し、インターネットが利用できるようになる。
- 2012年10月, NASAが、バンドルプロトコルを利用した国際宇宙ステーション (ISS) からの、欧州宇宙機関 (ESA) にあるロボットの遠隔制御に成功。
- 2013年10月, NASAが、月探査機LADEE・地球間 (38.5万km) において622Mbpsのレーザー通信を記録。
- 2019年8月, ESAが、1.8Gbps レーザー通信を実現するスペースデータハイウェイ構想のための軌道静止衛星EDRSシリーズを打ち上げる。
- 2022年1月, Amazonが、月探査船オリオンのミッション Artemis I に音声エージェントAlexaを搭載することを発表。

1. NASA, "Use of the Delay-Tolerant Networking Bundle Protocol From Space", 2009/4, <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20090020378/downloads/20090020378.pdf>
2. NASA, "NASA Extends the World Wide Web Out Into Space", 2010/1/23, https://www.nasa.gov/home/hqnews/2010/jan/HQ_M10-012_ISS_Web.html

通信区間



図：地球火星間の通信区間のイメージ

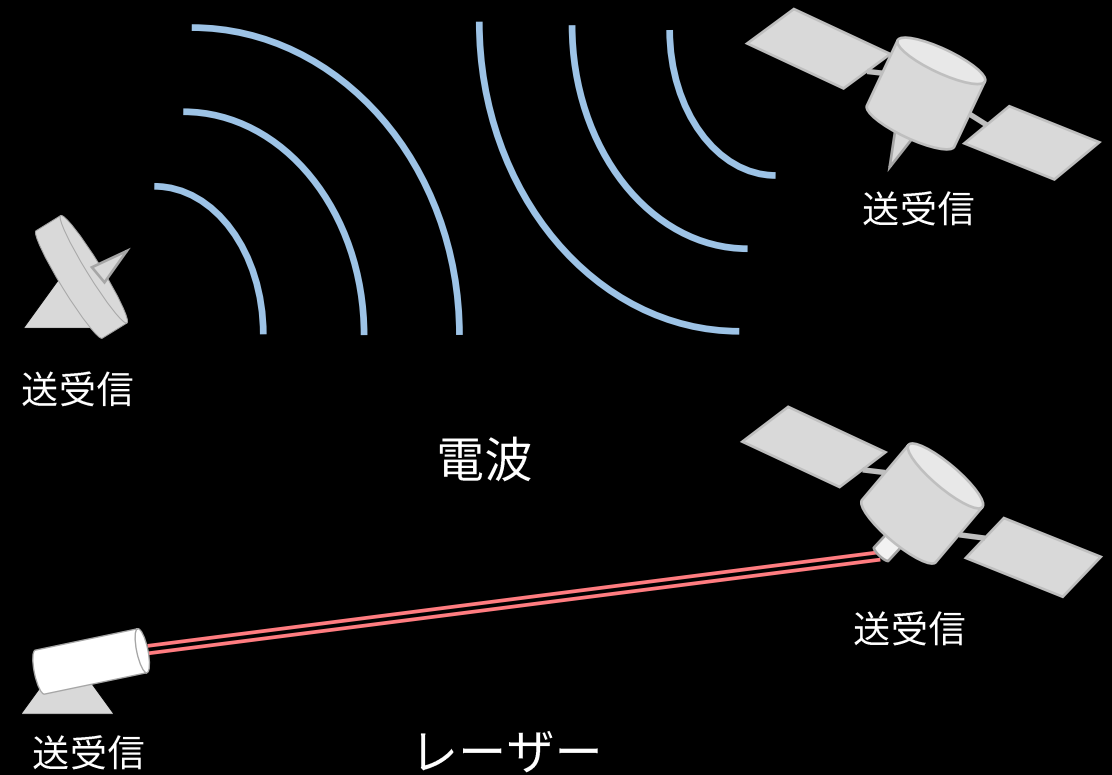
宇宙通信方式

表：電波通信とレーザー通信の比較

| | 電波 | レーザー |
|------|----------|---------|
| 回線 | 無線 | 無線 |
| 性質 | 電磁波 | 電磁波 |
| 方式 | 高周波 (RF) | 光 (ビーム) |
| 指向性 | 低い | 高い |
| 受信範囲 | 広い | 狭い |
| 速度 | 遅い | 速い |

※ 比較による

- 衛星放送のBS, CSや携帯電話の5G, 無線LANのWi-Fi6などは電波通信.
- 光ファイバーを媒体とした有線通信の光通信 (FTTx) はレーザー通信.



図：電波通信とレーザー通信のイメージ

バンドルプロトコル

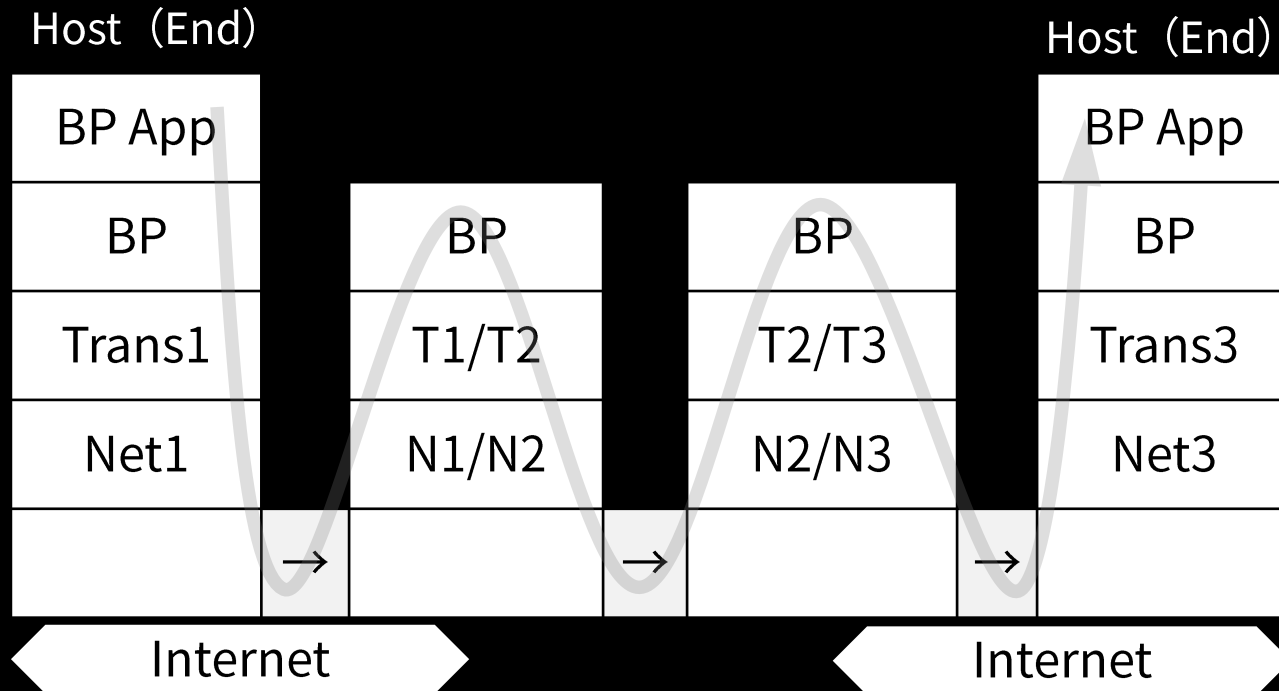


Figure 1: The Bundle Protocol Sits at the Application Layer of the Internet Model^[1]

バンドルプロトコル (Bundle Protocol) は、RFC5050で定められておりバージョン6が公開されている。

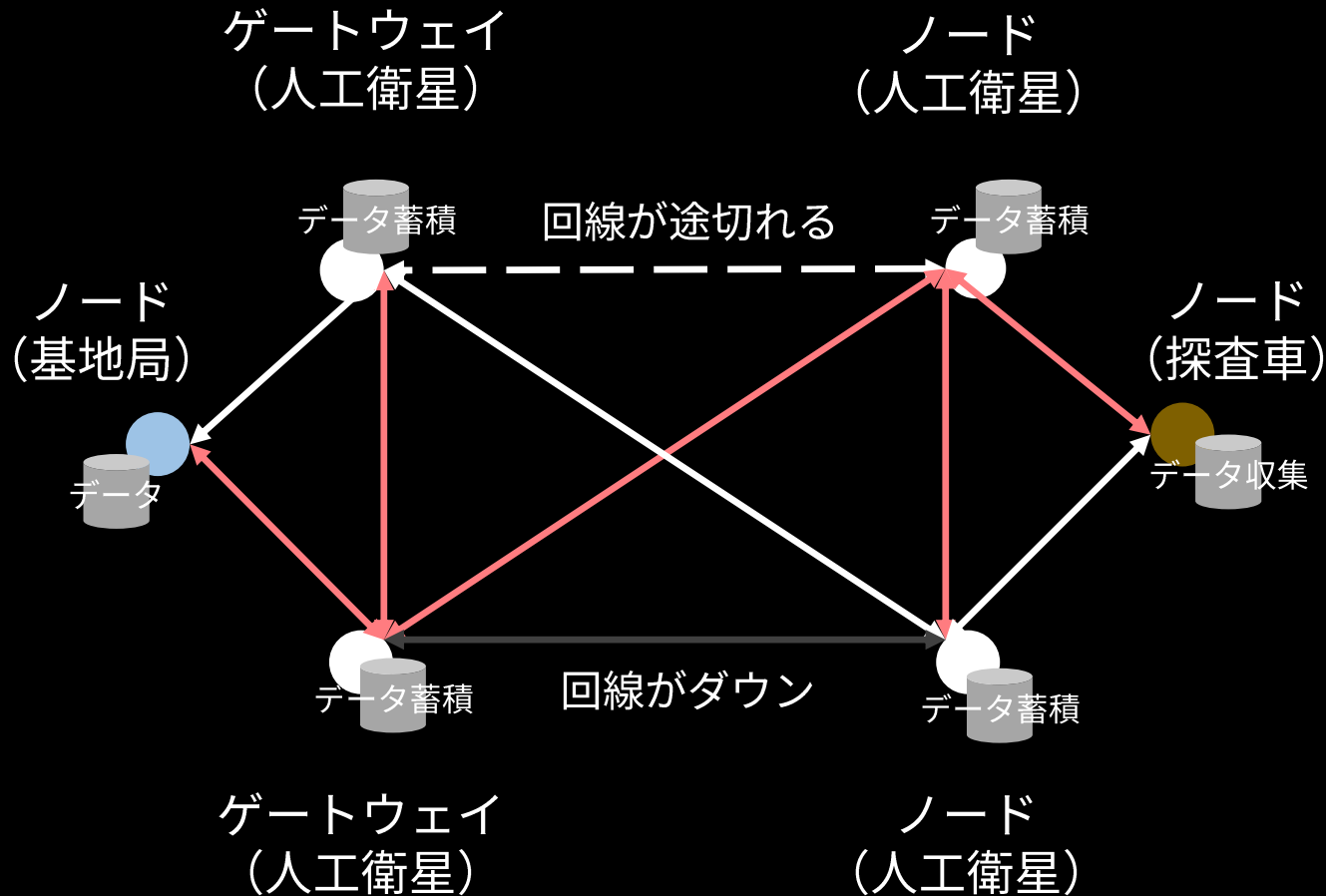
バンドルは、送信単位のプロトコルデータユニット。RFC5050では通信に必要な端末同士のE2E (End to End) のシステムの基本となる仕様も含まれている。BP層では、ネットワークのインターフェースの違いを吸収する。

標準化団体の宇宙データシステム諮問委員会 (Consultative Committee for Space Data System) によって、より具体的な技術仕様^[2]の協議が進められている。

1. IETF, "Bundle Protocol Specification", 2007/11, <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc5050Bundle>

2. CCSDS, "BUNDLE PROTOCOL SPECIFICATION", RECOMMENDED STANDARD CCSDS 734.2-B-1, <https://public.ccsds.org/Pubs/734x2b1.pdf>

遅延耐性ネットワーク



図：遅延耐性ネットワークのイメージ

遅延耐性ネットワーク (Delay Tolerant Networking) は、RFC4838で定められている。

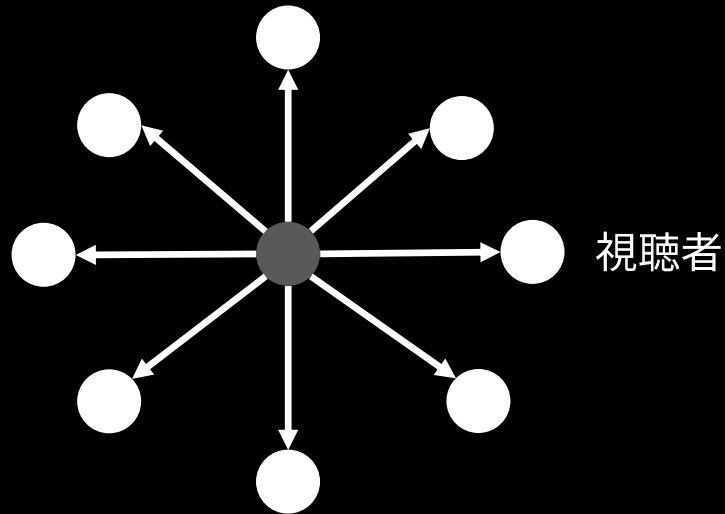
不安定な通信状況下において、ノードに永続的なデータ蓄積を可能としており、ネットワークを切り替えることで安定した通信を実現する。データ欠損時に、非同期で近くのノードと通信することで補完することができる。

IRTF (Internet Research Task Force) のDTNRG (Delay-Tolerant Networking Research Group) が推進している。

1. IETF, RFC4838, 2007/4, <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc4838>
2. IRTF DTNRG, <https://irtf.org/concluded/dtnrg>

ネットワーク効果

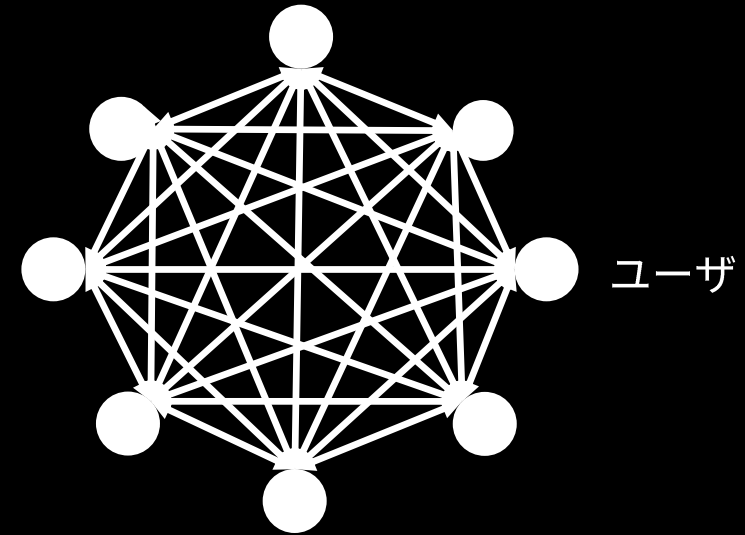
有向グラフ



$V = n$ 線形グラフ

図：放送のネットワーク効果

完全有向グラフ



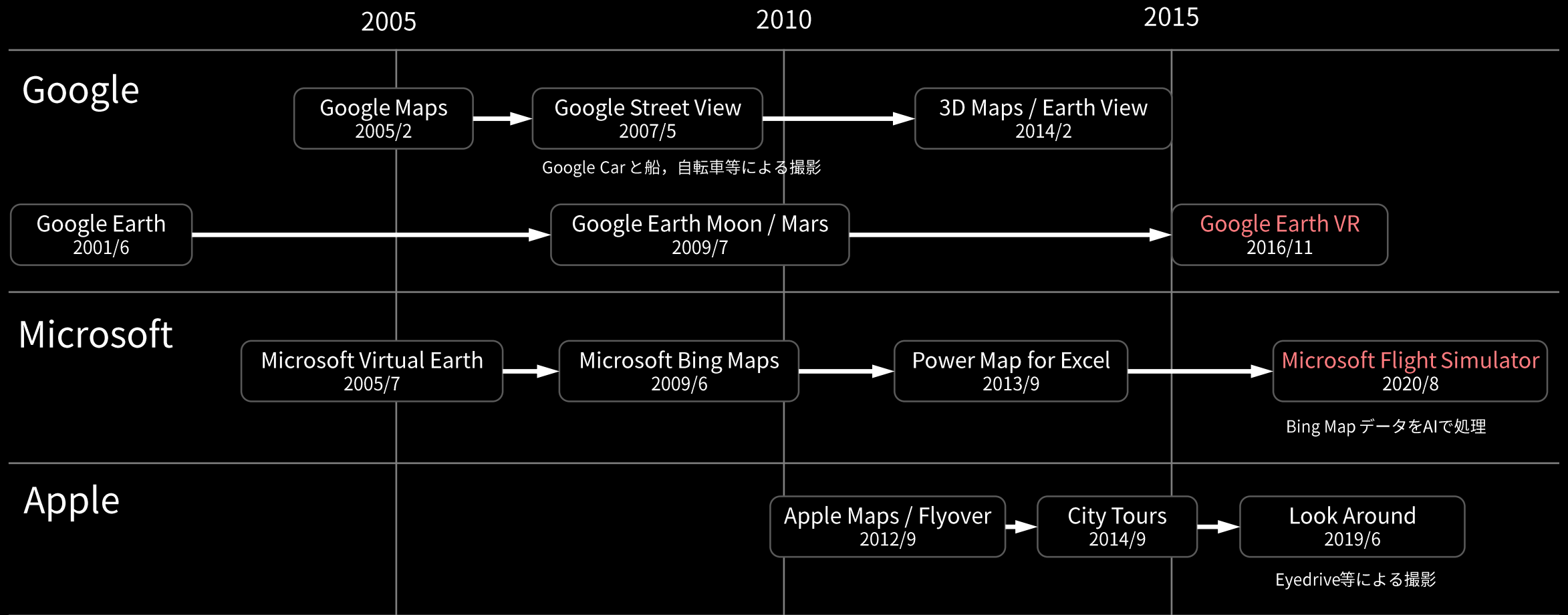
$V = \frac{n(n-1)}{2}$ 指数グラフ

図：通信のネットワーク効果

実業家 David Sarnoffは、マスメディアである「放送の価値は、視聴者数に比例する」と述べた。実際に視聴率として計算されている。1980年、Ethernetの開発者の一人、Robert Metcalfeは、「ネットワークにおける効果（価値）は、接続数の2乗に比例する」Metcalfeの法則を提唱した。接続数はユーザ数に置き換えられる。

1. Bob Metcalfe, "Metcalfe's law after 40 years of Ethernet", IEEE Computer, 2013, <https://ieeexplore.ieee.org/document/6636305>

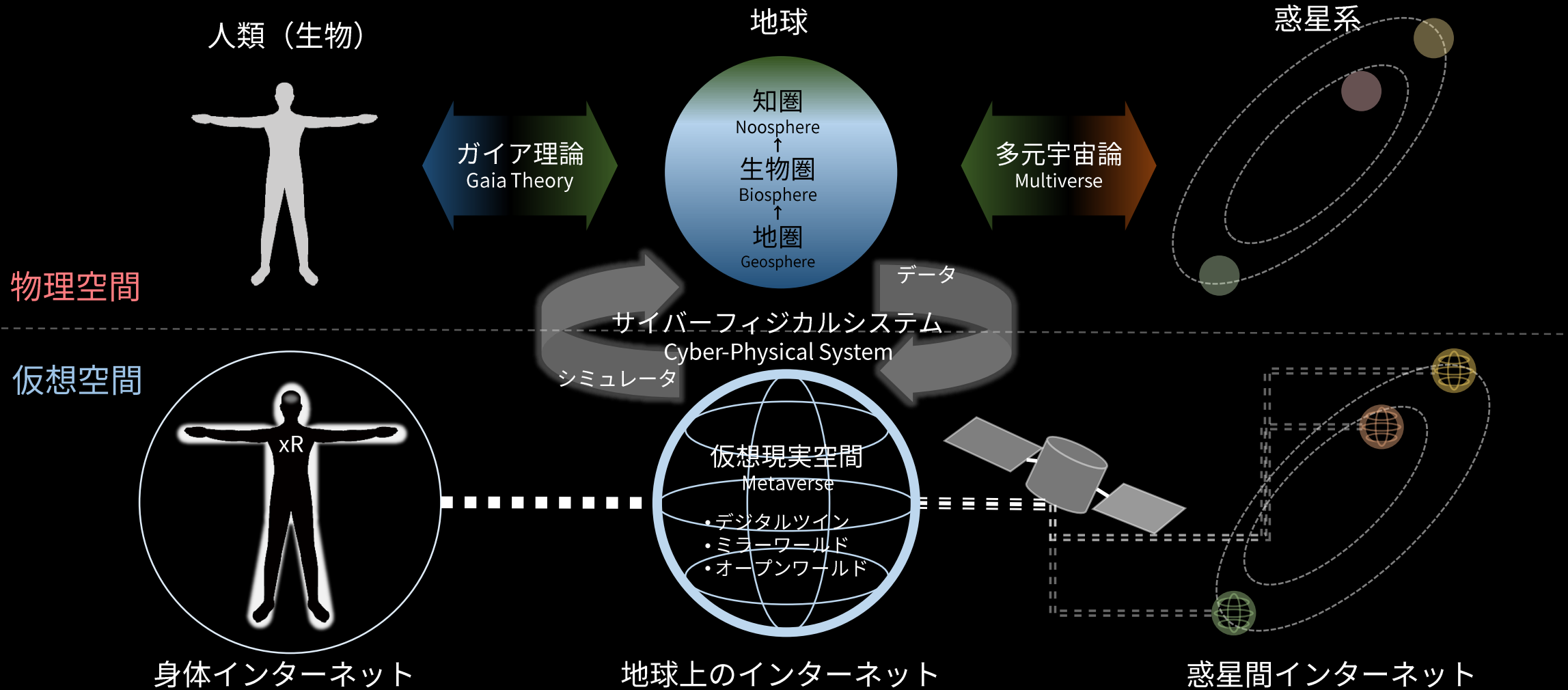
衛星測位と地図データ



図：衛星測位と地図データ

- Landsat-8 や WorldView-3 などの地球観測衛星の衛星データや航空機からの航空写真が複合的に利用されている。
- 惑星やその衛星の周回人工衛星のデータに基づいた精度の高い地理空間情報の活用が進む。

世界観



図：科学技術的世界観

まとめ

『惑星間インターネットの進歩』

地球のデータは、我々の生活にも役立てられている。データを活用するための情報通信技術は地球だけでなく惑星間での活用が想定されている。宇宙を科学的に解明する目的から人類が宇宙進出するためのインフラとして惑星間インターネットの技術が期待されている。極限下技術の研究開発は、普段利用される技術にフィードバックされている。宇宙科学分野のデータによる解明は今後も人類に大きな影響を与えると考えられる。