コンピュータネットワーク

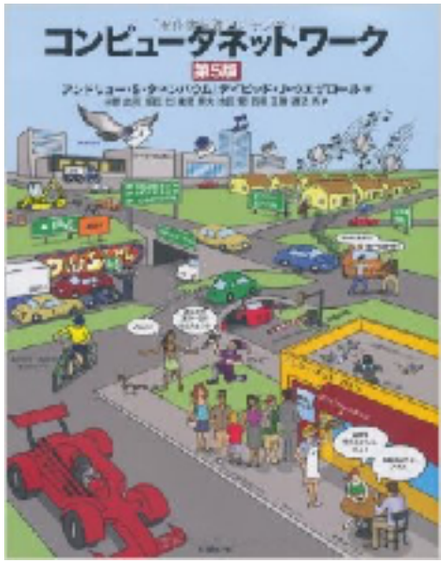
開講クォーター: 1Q

曜日・時限: 火、金1-2限

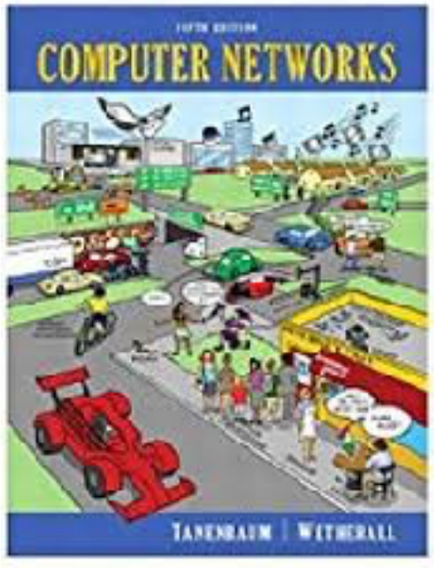
講義室: S011

横田理央

rioyokota@gsic.titech.ac.jp



教科書



参考書

講義日程

		授業計画		課題
04/10	第１回	計算機ネットワークの基本概念 ハードウェア・ソフトウェア，参照モデル	１章	ネットワークの種類と参照モデルを理解し プロトコル階層と各層の設計課題
04/13	第２回	物理層１ 有線伝送と無線伝送	２章	物理チャネルの特性を理解し データ通信の理論的基礎を理解
04/17	第３回	物理層２ デジタル変調と多重化	２章	ベースバンド伝送と通過帯域伝送， 電話網，携帯電話システムを説明できる
04/20	第４回	データリンク層１ 誤りの検出・訂正	３章	誤りの検出・訂正のしくみを理解し 検出・訂正符号の計算ができる
04/24	第５回	データリンク層２ データリンク・プロトコル	３章	データリンク・プロトコルの種類， 各プロトコルを定量的に評価できる
04/27	第６回	メディア・アクセス副層１ ブロードキャスト・チャネル	４章	多重アクセス・プロトコルを理解し データ・レートを計算できる
05/01	第７回	メディア・アクセス副層２ 無線 LAN，Bluetooth, RFID	４章	個別のプロトコル・スタックを理解し データリンク層スイッチングを理解
05/08	第８回	理解度確認総合演習 (中間試験) 第１回から第７回までの内容の演習形式による確認		第１回から第７回までの理解度確認と 到達度自己評価

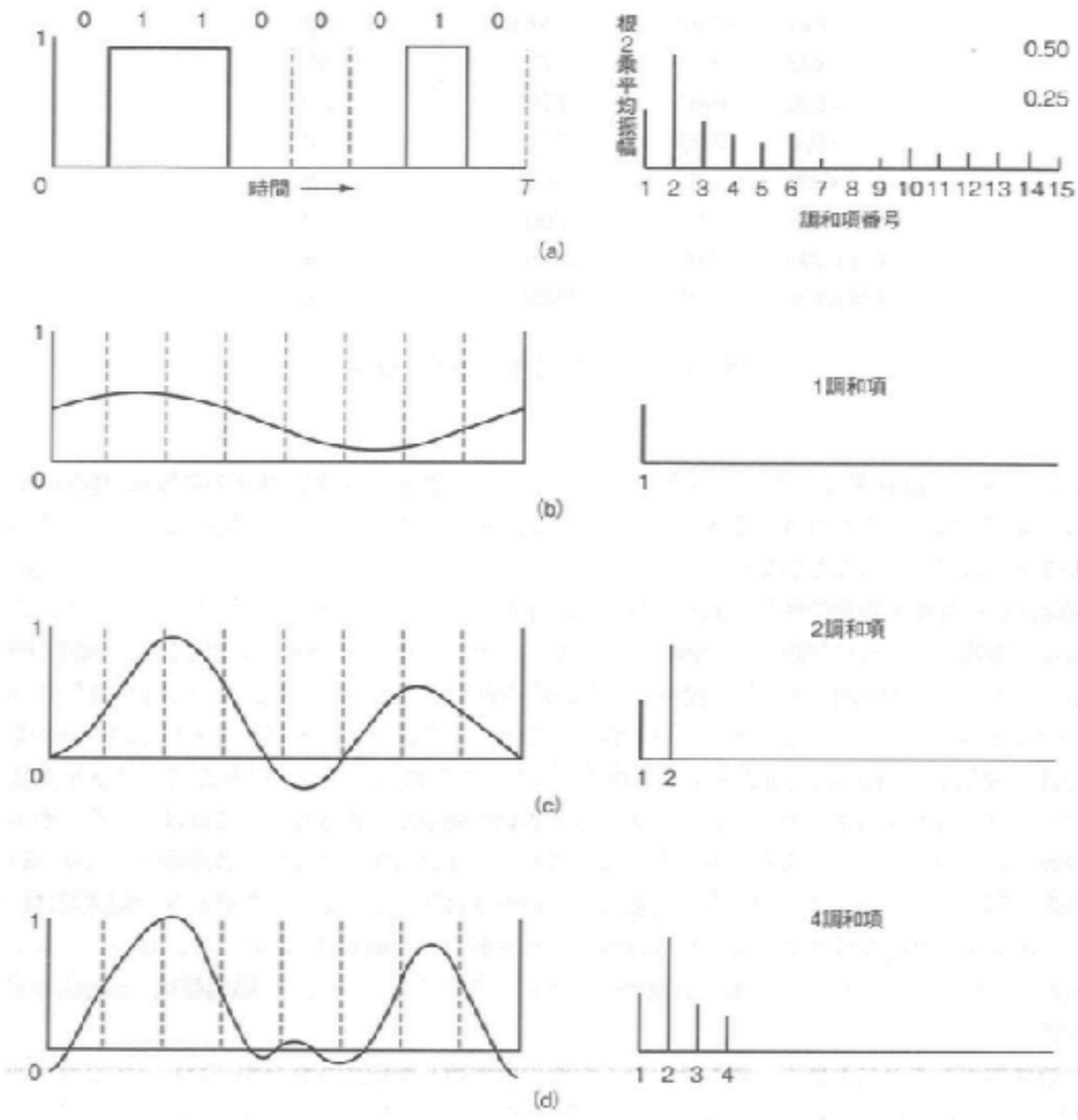
フーリエ変換

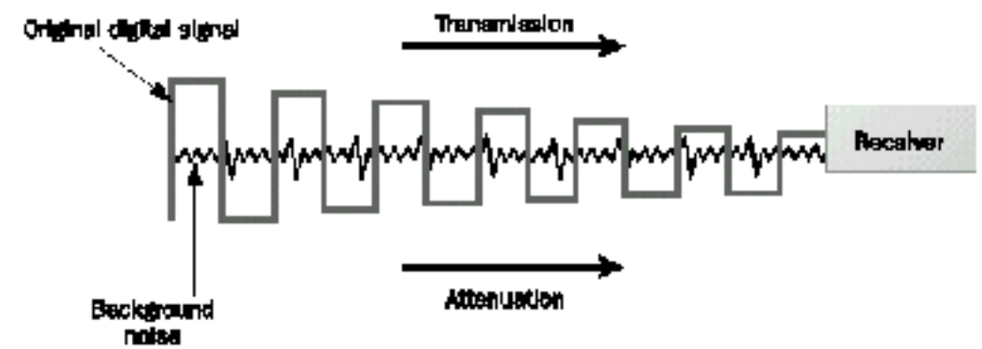
$$\hat{f}(\xi) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\, e^{-2\pi i x \xi}\, dx,$$

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \hat{f}(\xi)\, e^{2\pi i \xi x}\, d\xi,$$

https://en.wikipedia.org/wiki/Fourier_transform

帯域制限信号





帯域幅: 大きく減衰することなく伝送される周波数の幅

ベースバンド信号: 0から最大周波数まで広がる信号

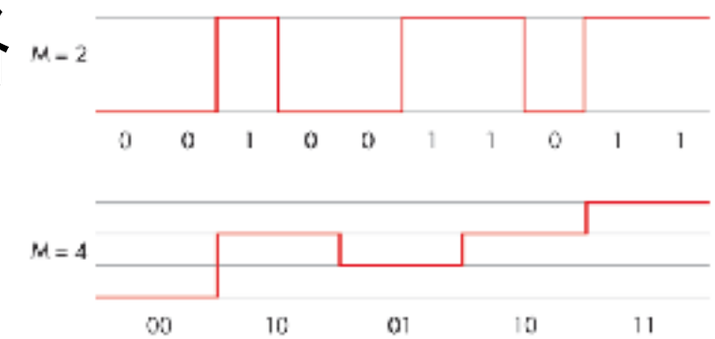
通過帯域信号:高い周波数を通過するようにずらした信号

ビット / 秒	T（ms）	第 1 調和項（Hz）	送信可能な調和項の数
300	26.67	37.5	80
600	13.33	75	40
1200	6.67	150	20
2400	3.33	300	10
4800	1.67	600	5
9600	0.83	1200	2
1 万 9200	0.42	2400	1
3 万 8400	0.21	4800	0

最大データ転送速度

Harry Nyquist (1889–1976)

雑音のない有限帯域通信路



V = 2

V = 4

B : 低域通過フィルタ周波数 [Hz]

V : 信号の階調の数

$$\text{maximum data rate} = 2B \log_2 V \text{ bits/sec}$$

(課題 2)

$$2B\log_2(M) = B\log_2\left(1+\frac{S}{N}\right)$$

$$M = \sqrt{1+\frac{S}{N}}$$

平方根が電力比から電圧比への変換

ランダムな雑音を持って通信路に拡張

S : 信号の大きさ

N : 雑音の大きさ

decibel (dB) : $10 \log_{10} S/N$

$$\text{maximum number of bits/sec} = B \log_2 (1 + S/N)$$

Claude Elwood Shannon (1916–2001)

(課題 1, 3, 4)

最大データ転送速度

Harry Nyquist (1889–1976)

雑音のない有限帯域通信路

V = 2

V = 4

B : 低域通過フィルタ周波数 [Hz]

V : 信号の階調の数

$$\text{maximum data rate} = 2B \log_2 V \text{ bits/sec}$$

(課題 2)

信号の階調の数 = 2^n　n bits/symbol

(bit rate) = (symbol rate) x n

ビット速度　シンボル速度

ランダムな雑音を持って通信路に拡張

S : 信号の大きさ

N : 雑音の大きさ

decibel (dB) : $10 \log_{10} S/N$

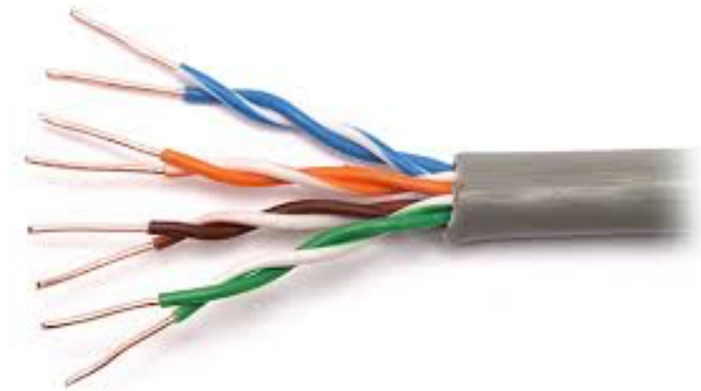
$$\text{maximum number of bits/sec} = B \log_2 (1 + S/N)$$

Claude Elwood Shannon (1916–2001)

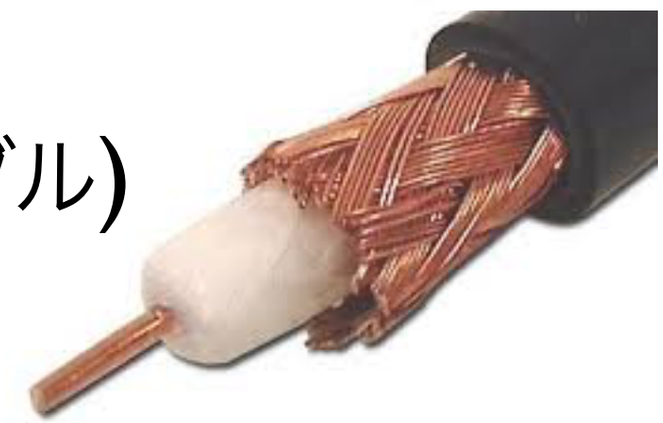
(課題 1, 3, 4)

Guided transmission media (有線伝送)

1. Twisted pairs (より対線)



2. Coaxial cable (同軸ケーブル)

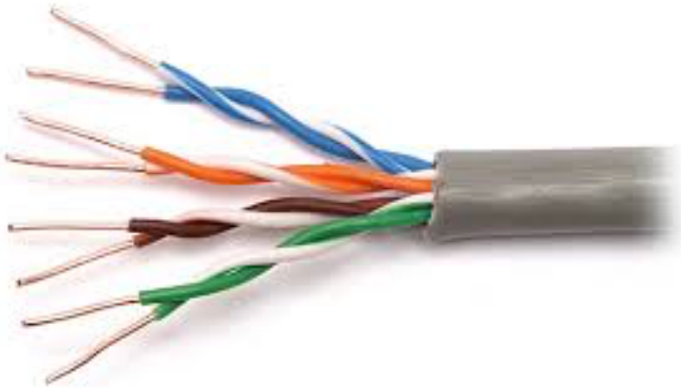


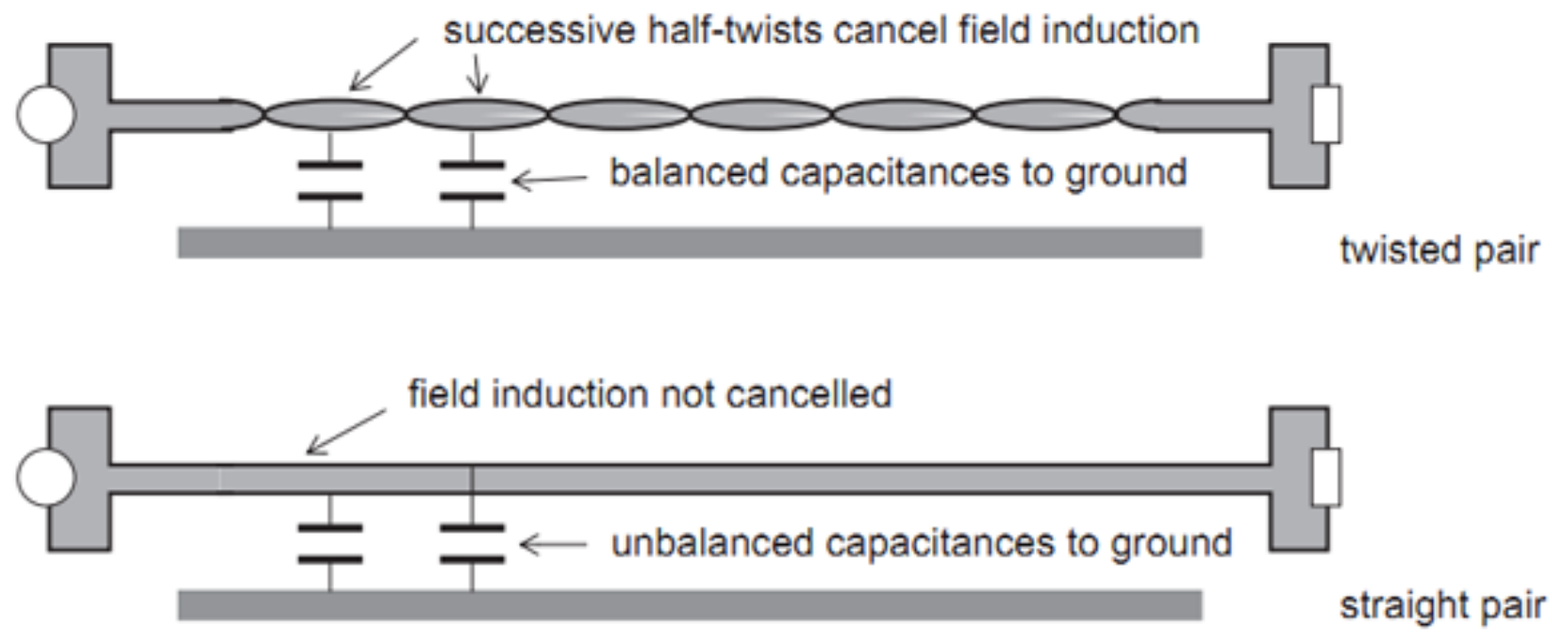
3. Power lines (電力線)

4. Fiber optics (光ファイバ)

Telephone 45Mbps ⟶ Fiber optics 100 Gbps

Twisted pairs (より対線)



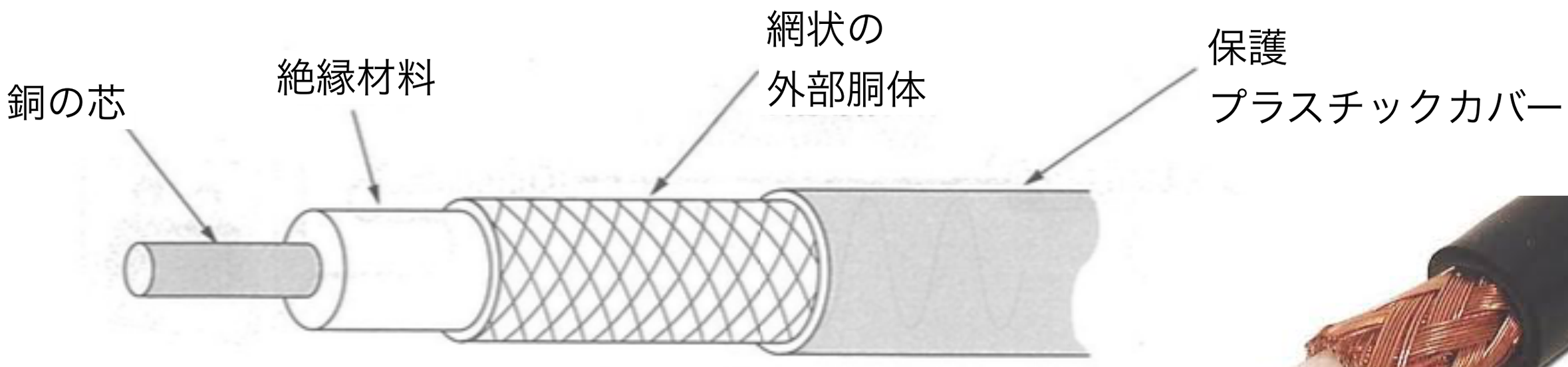


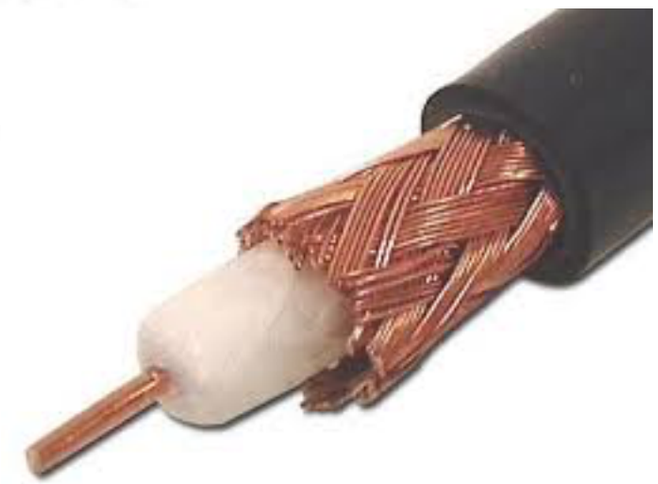
Unshielded Twisted Pair **UTP Categories - Copper Cable**

UTP Category	Data Rate	Max. Length	Cable Type	Application
CAT1	Up to 1Mbps	-	Twisted Pair	Old Telephone Cable
CAT2	Up to 4Mbps	-	Twisted Pair	Token Ring Networks
CAT3	Up to 10Mbps	100m	Twisted Pair	Token Rink & 10BASE-T Ethernet
CAT4	Up to 16Mbps	100m	Twisted Pair	Token Ring Networks
CAT5	Up to 100Mbps	100m	Twisted Pair	Ethernet, FastEthernet, Token Ring
CAT5e	Up to 1 Gbps	100m	Twisted Pair	Ethernet, FastEthernet, Gigabit Ethernet
CAT6	Up to 10Gbps	100m	Twisted Pair	GigabitEthernet, 10G Ethernet (55 meters)
CAT6a	Up to 10Gbps	100m	Twisted Pair	GigabitEthernet, 10G Ethernet (55 meters)
CAT7	Up to 10Gbps	100m	Twisted Pair	GigabitEthernet, 10G Ethernet (100 meters)

Firewall.cx

Coaxial cable (同軸ケーブル)





もっとも電力効率が良いのは 30 Ω

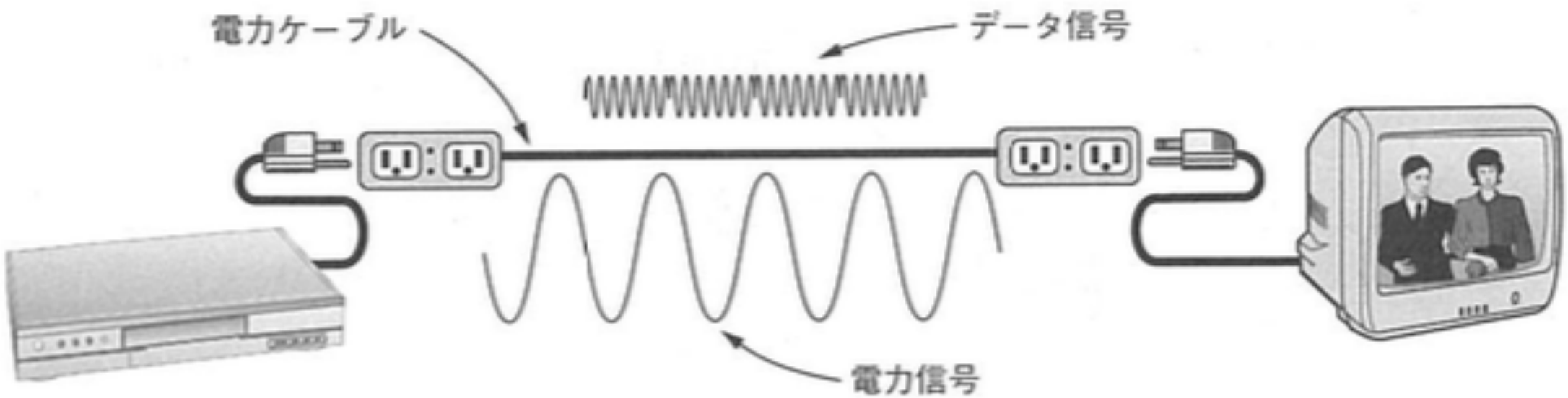
減衰が最小化できるのは 76.7 Ω

⟶ 50 Ω

Data Over Cable Service Interface Specification (DOCSIS)

Channel configuration		Downstream throughput		Upstream throughput
Number of downstream channels	Number of upstream channels	DOCSIS	EuroDOCSIS	
4	4	171.52 (152) Mbit/s	222.48 (200) Mbit/s	122.88 (108) Mbit/s
8	4	343.04 (304) Mbit/s	444.96 (400) Mbit/s	122.88 (108) Mbit/s
16	4	686.08 (608) Mbit/s	889.92 (800) Mbit/s	122.88 (108) Mbit/s
24	8	1029.12 (912) Mbit/s	1334.88 (1200) Mbit/s	245.76 (216) Mbit/s
32	8	1372.16 (1216) Mbit/s	1779.84 (1600) Mbit/s	245.76 (216) Mbit/s

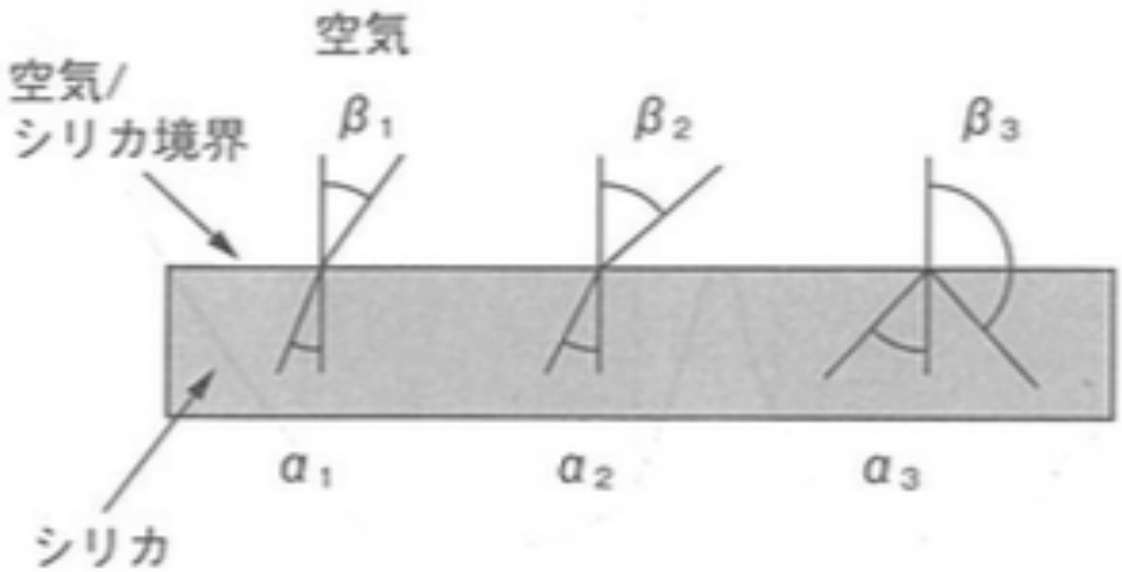
Power lines (電力線)

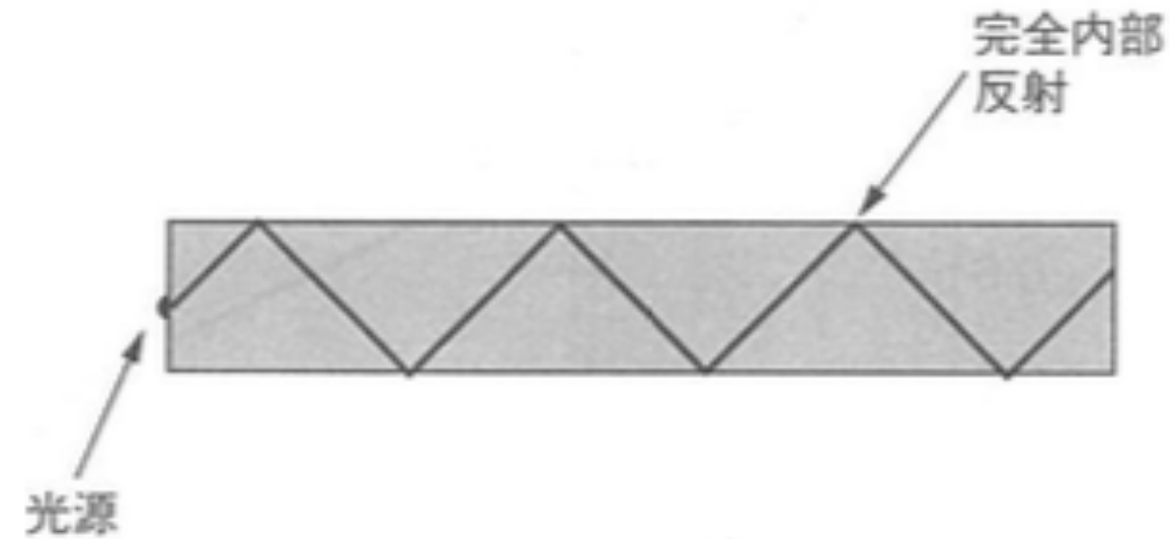


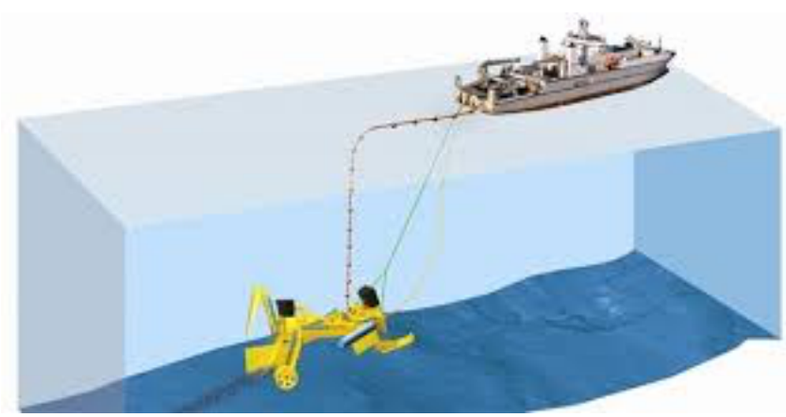
<u>遮蔽されていないとアンテナとして働いてしまう</u>

外部の信号を拾ってしまい
自身の信号を放射してしまう

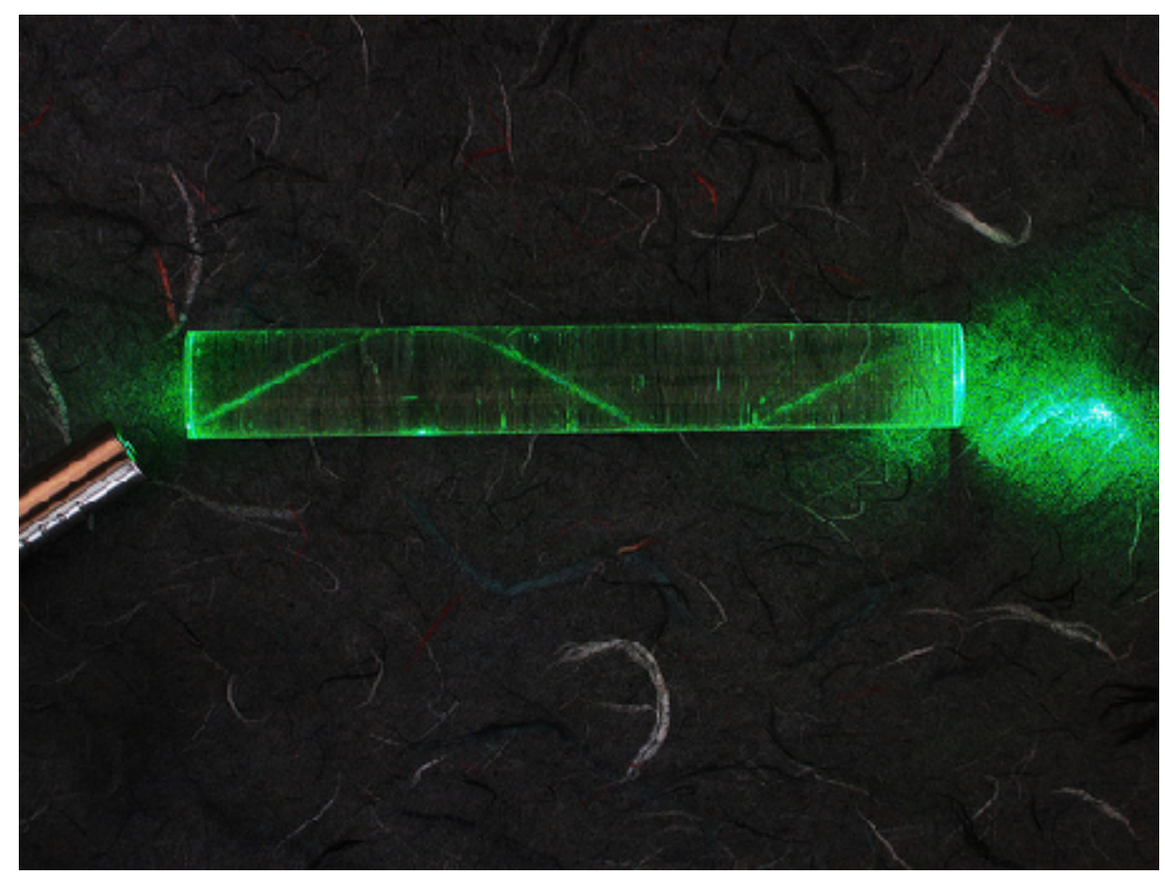
Fiber optics (光ファイバ)





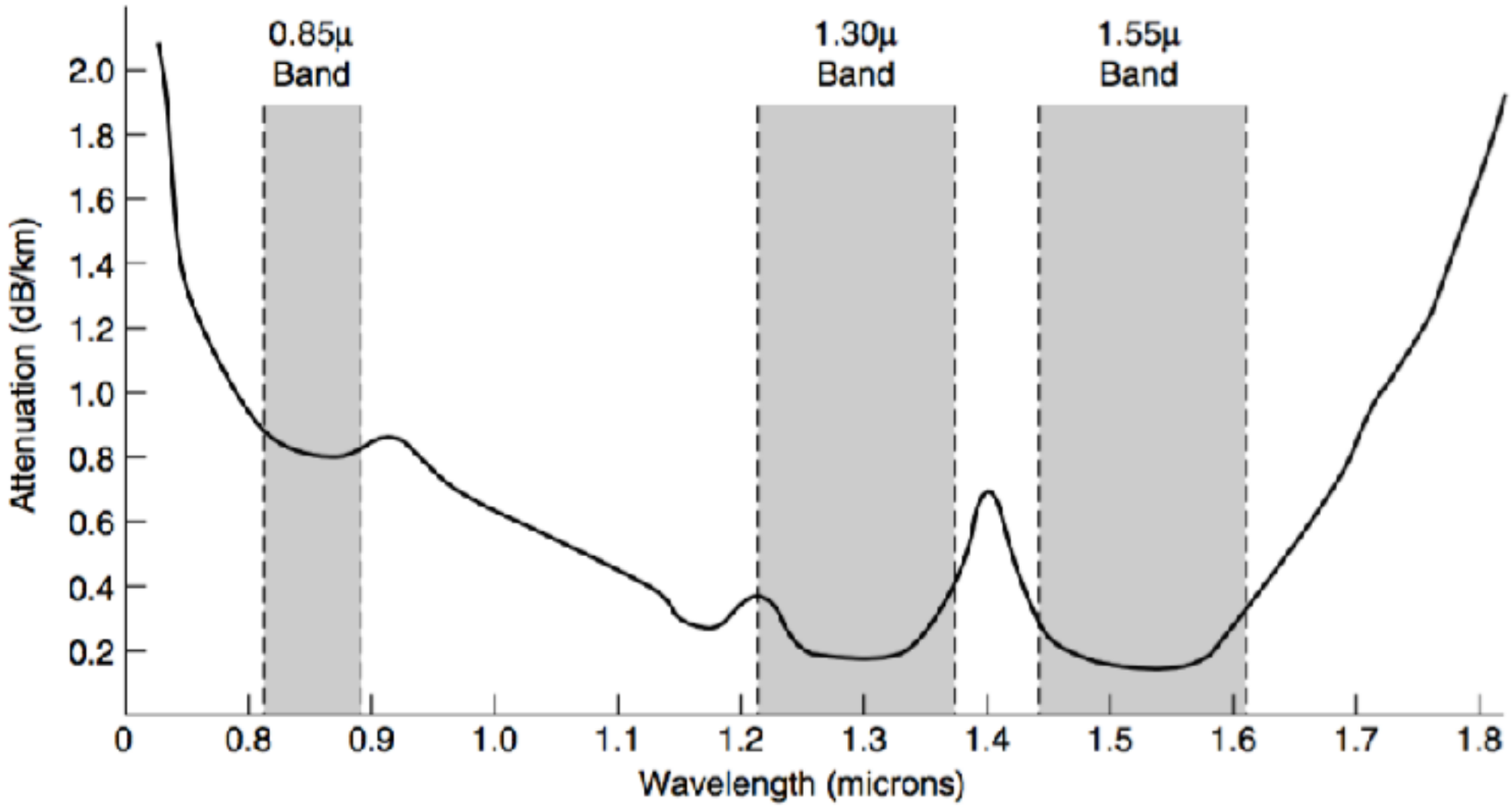


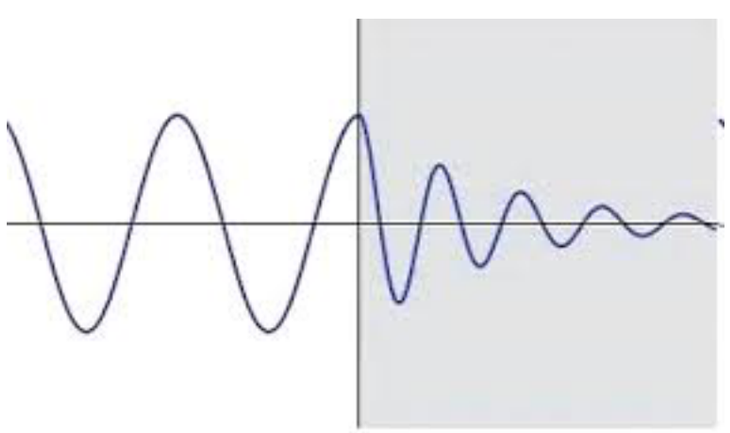
100km without amplification



https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_fiber

ファイバを通過した光の伝送

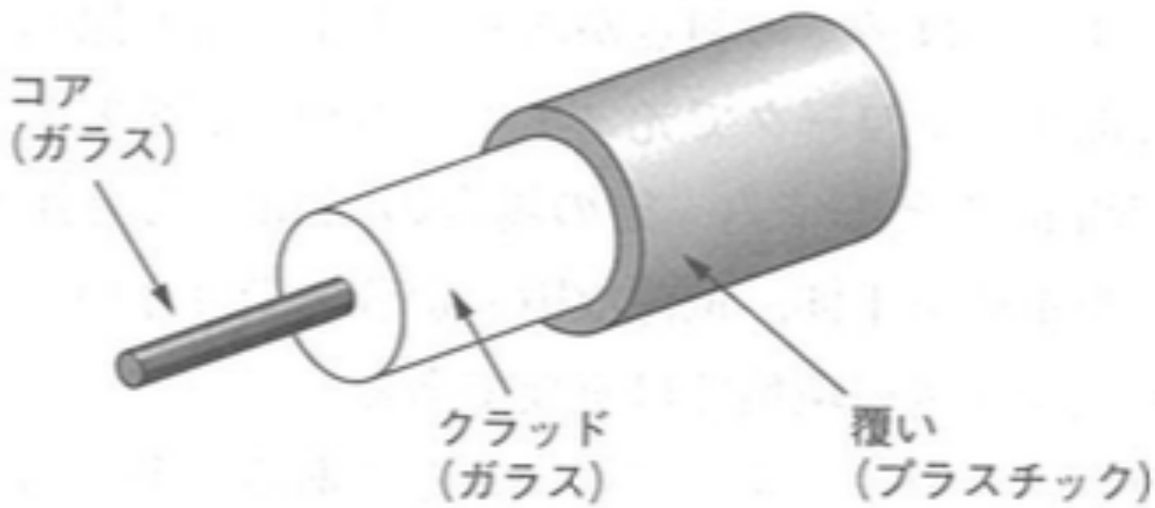


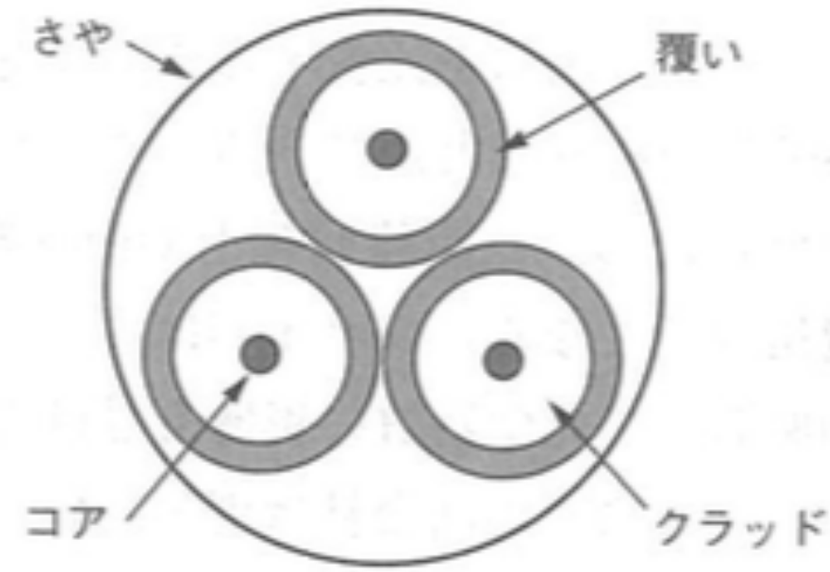


Attenuation

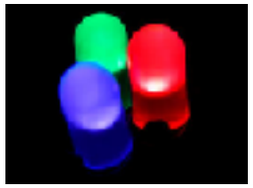
Chromatic dispersion

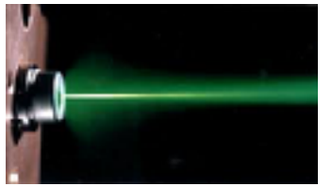
ファイバ・ケーブル

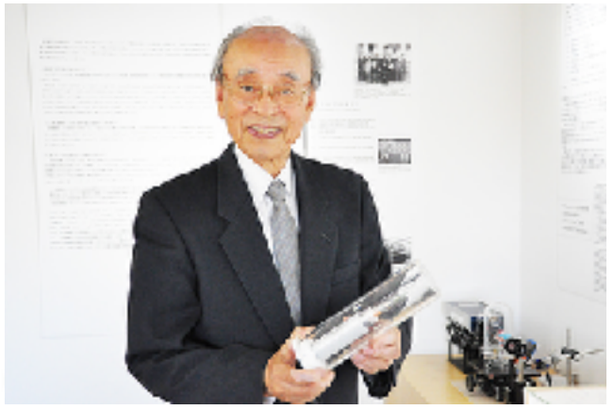




光源



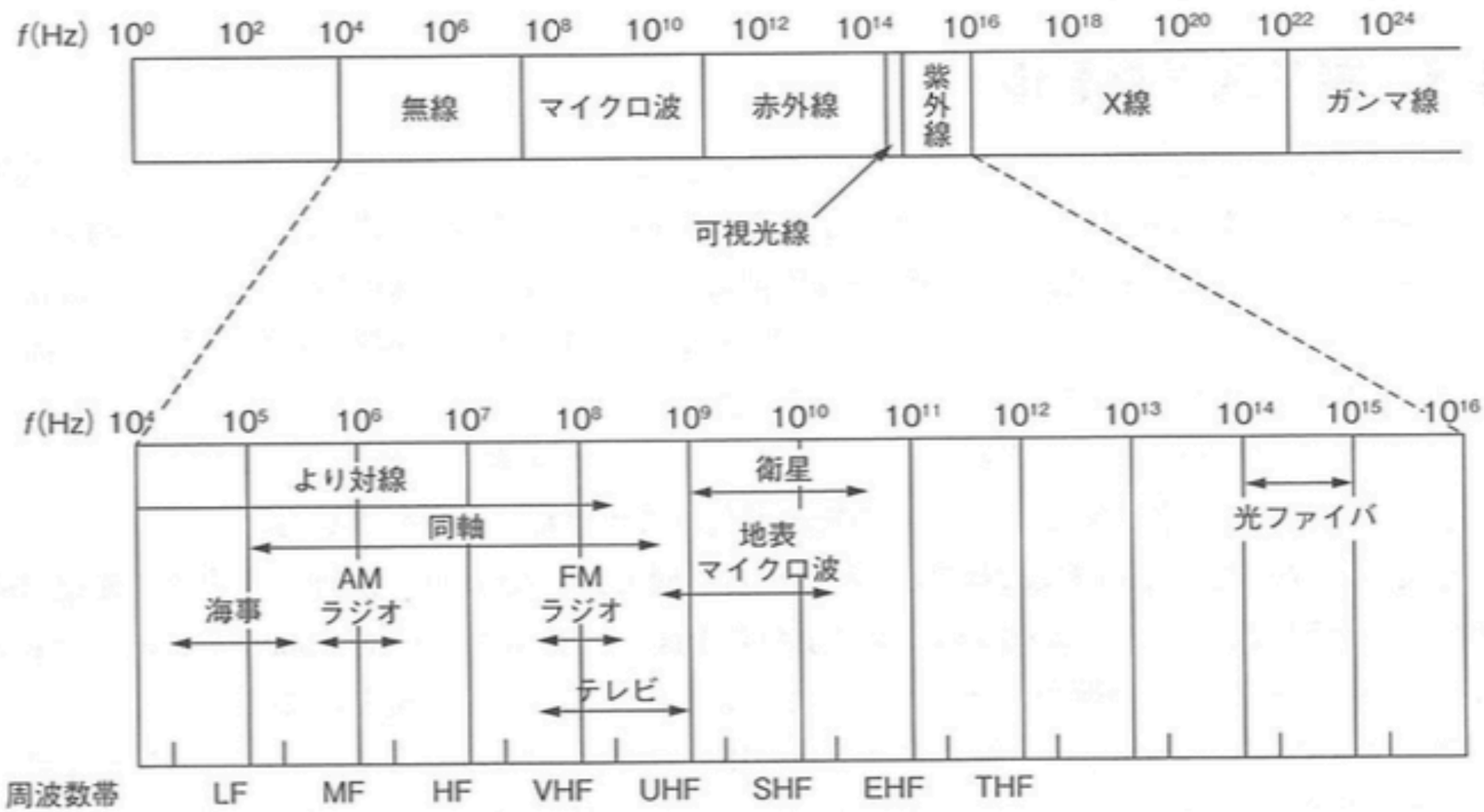




末松栄誉教授・元学長

項目	LED	半導体レーザー
データ転送速度	低	高
ファイバの種類	マルチモード	マルチモードまたはシングル・モード
距離	短い	長い
寿命	長寿命	短寿命
温度の影響	小さい	大きい
費用	低価格	高価

Wireless transmission (無線伝送)



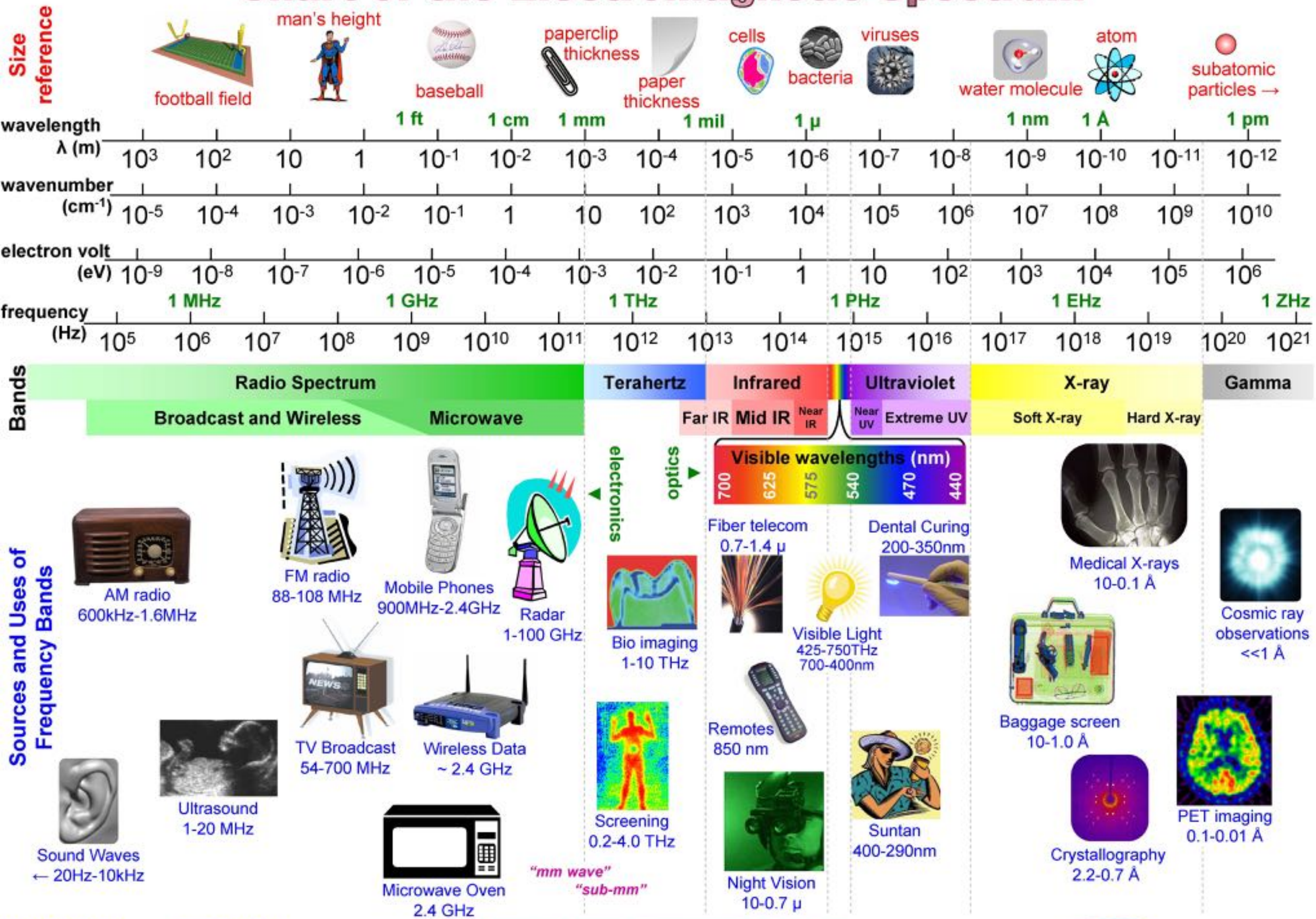
Heinrich Rudolf Hertz (1857–1894)

f : frequency $\qquad c \approx 3 \times 10^8 m/s$

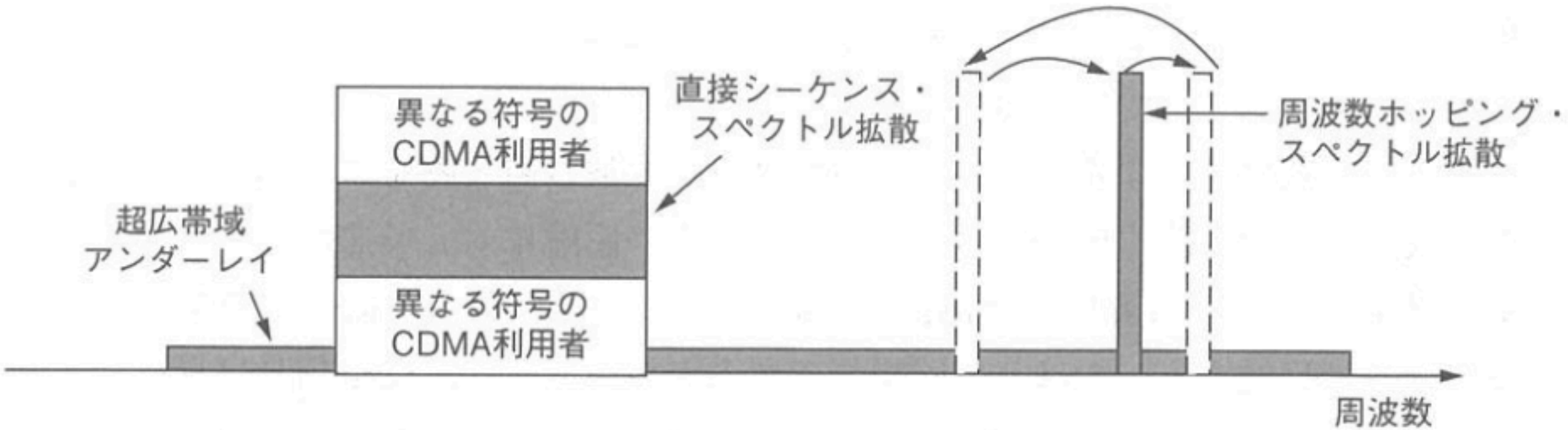
λ : wavelength

$\lambda f = c$

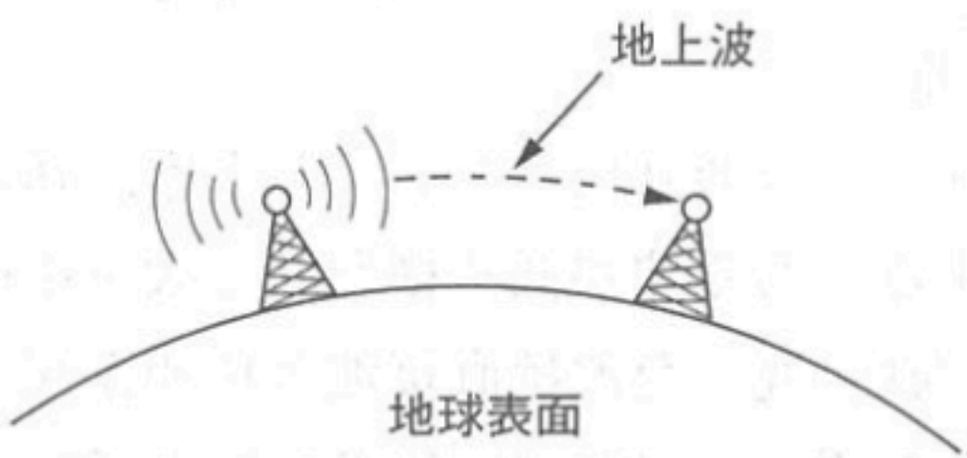
Chart of the Electromagnetic Spectrum



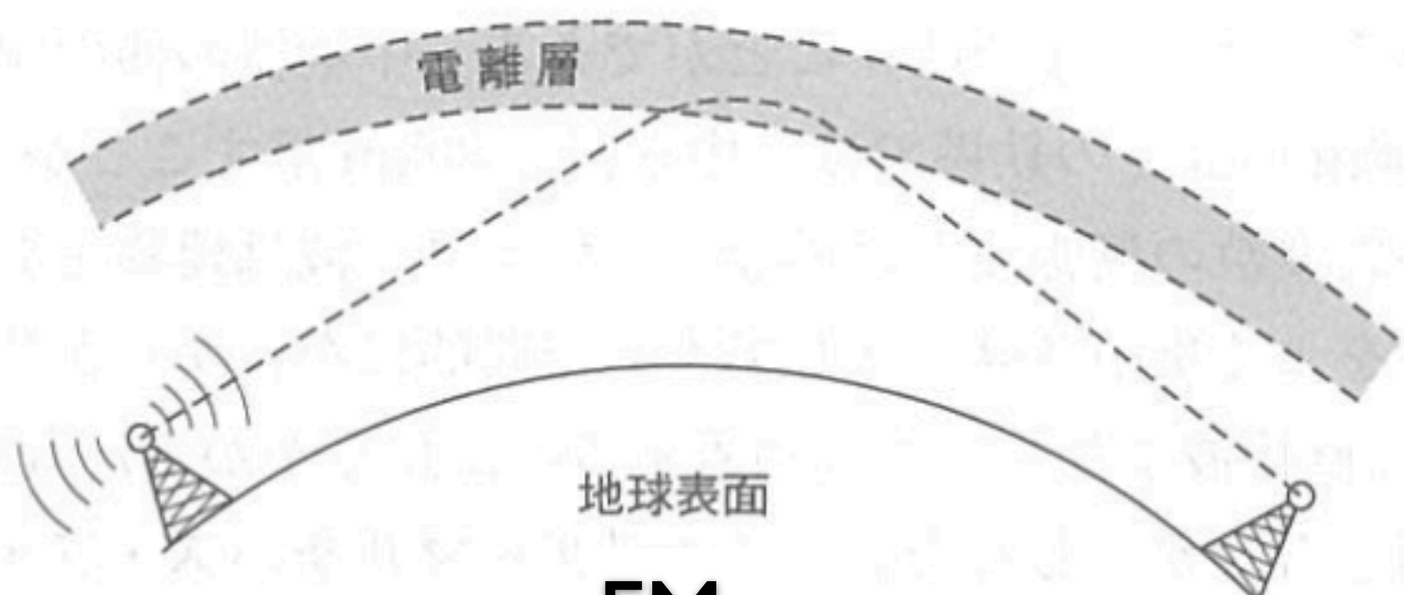
広い周波数帯を利用した伝送



無線伝送



AM



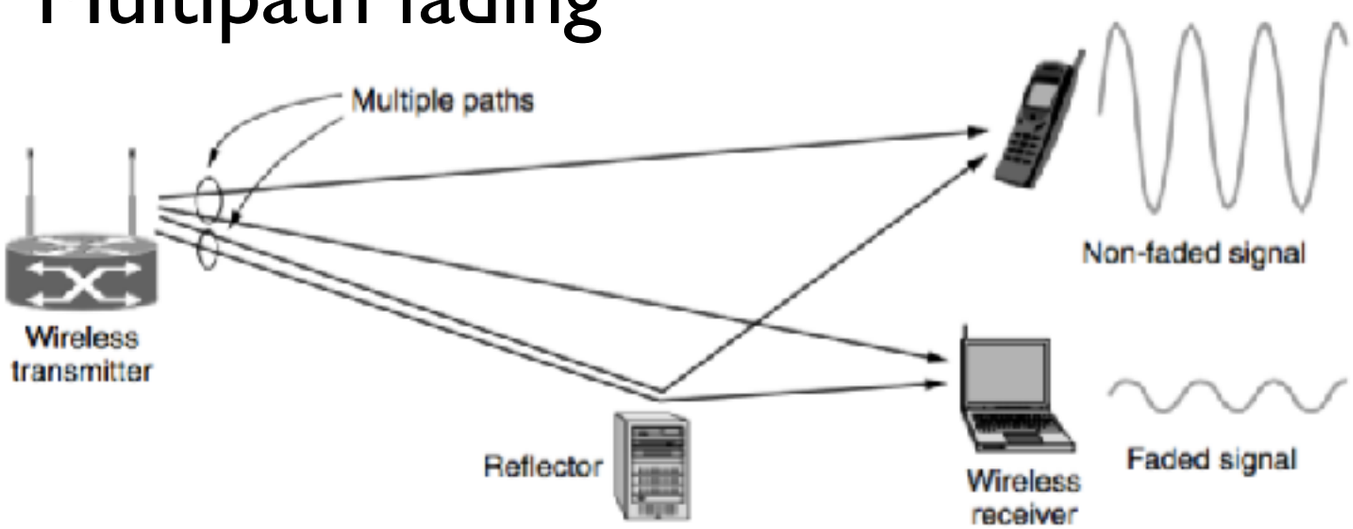
FM

マイクロ波伝送

100MHz 以上の電磁場はほぼ直進する

パラボラアンテナを用いて信号を集めることで
S/N比を大幅に増幅できる

Multipath fading



遅れてやってきた波がちょうど逆位相になり
打ち消しあってしまう

電磁スペクトルの政治学

誰がどの周波数帯を使うかを決めなくてはならない

Beauty contest : 政府の担当者が自分が気に入ったものを選ぶ

- 贈収賄、汚職、縁故びいき

Lottery : 抽選で決める

- 本当は興味のない会社も抽選に参加して当たったら売りつける

Auction : 競売にかける

- 通信事業者が破産してしまう

ISM (Industrial, Scientific, Medical) : 特定の周波数だけ決める

- イマココ

UNITED STATES FREQUENCY ALLOCATIONS

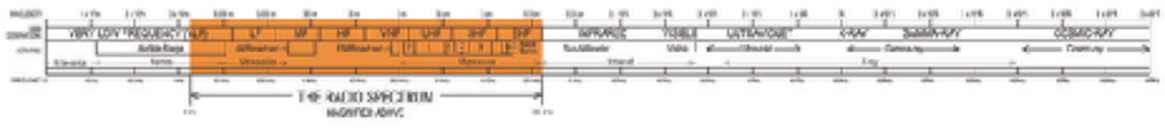
THE RADIO SPECTRUM

RADIO SERVICES COLOR LEGEND

ACTIVITY CODE

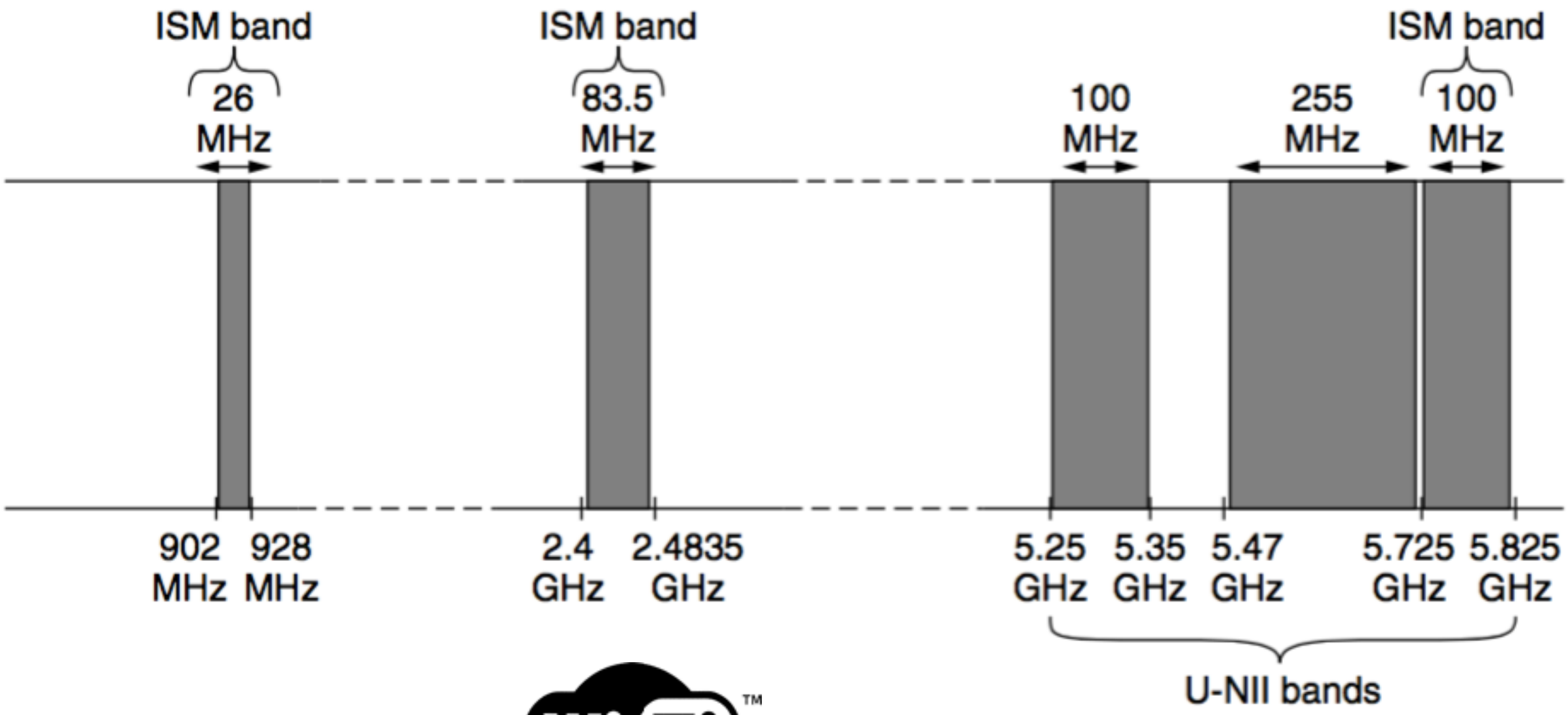
ALLOCATION USAGE DESIGNATION

SERVICE	EXAMPLE	DESCRIPTION
Primary	FIXED	Upper case letters
Secondary	Mobile	1st Capital with lower case letters



U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE
National Telecommunications and Information Administration
Office of Spectrum Management
October 2003

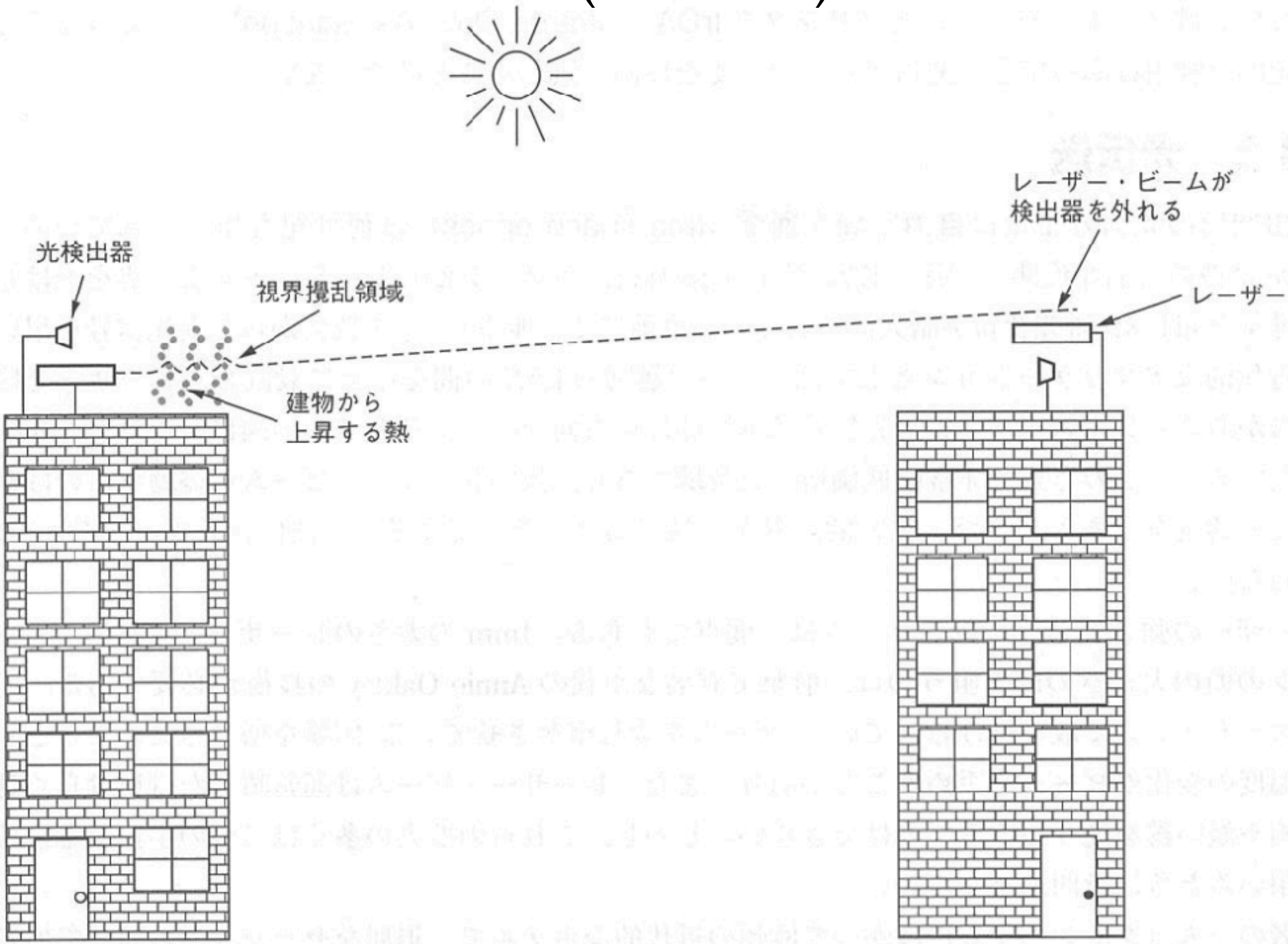
ISM (Industrial, Scientific, Medical)



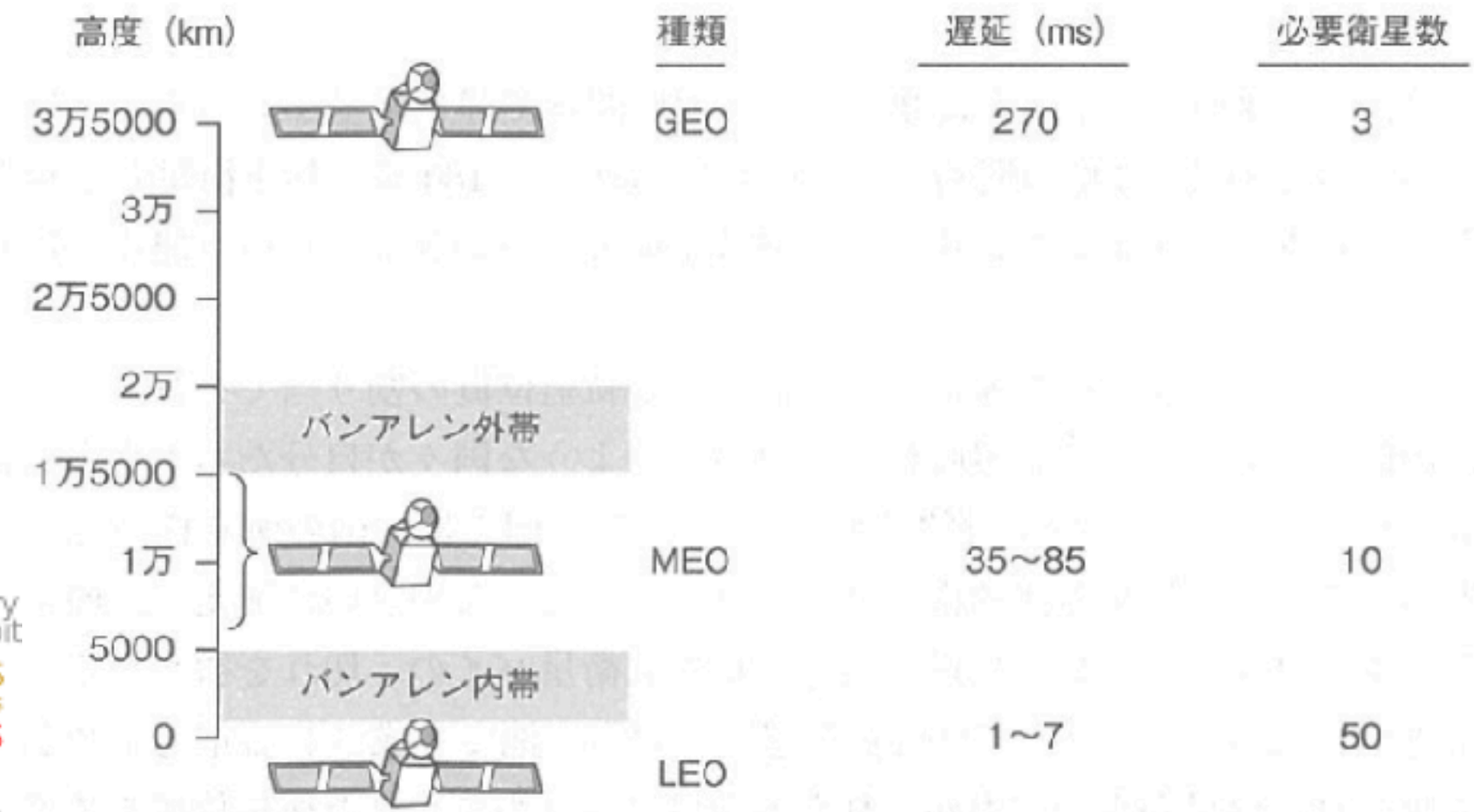
WiFi (802.11)

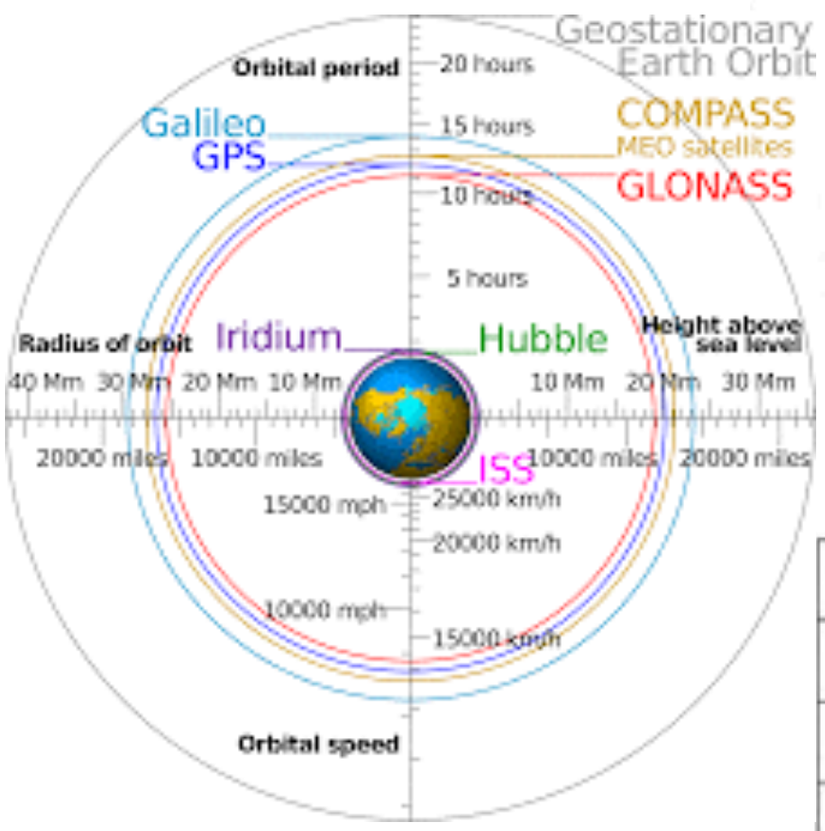
Bluetooth

光伝送(レーザー)



通信衛星

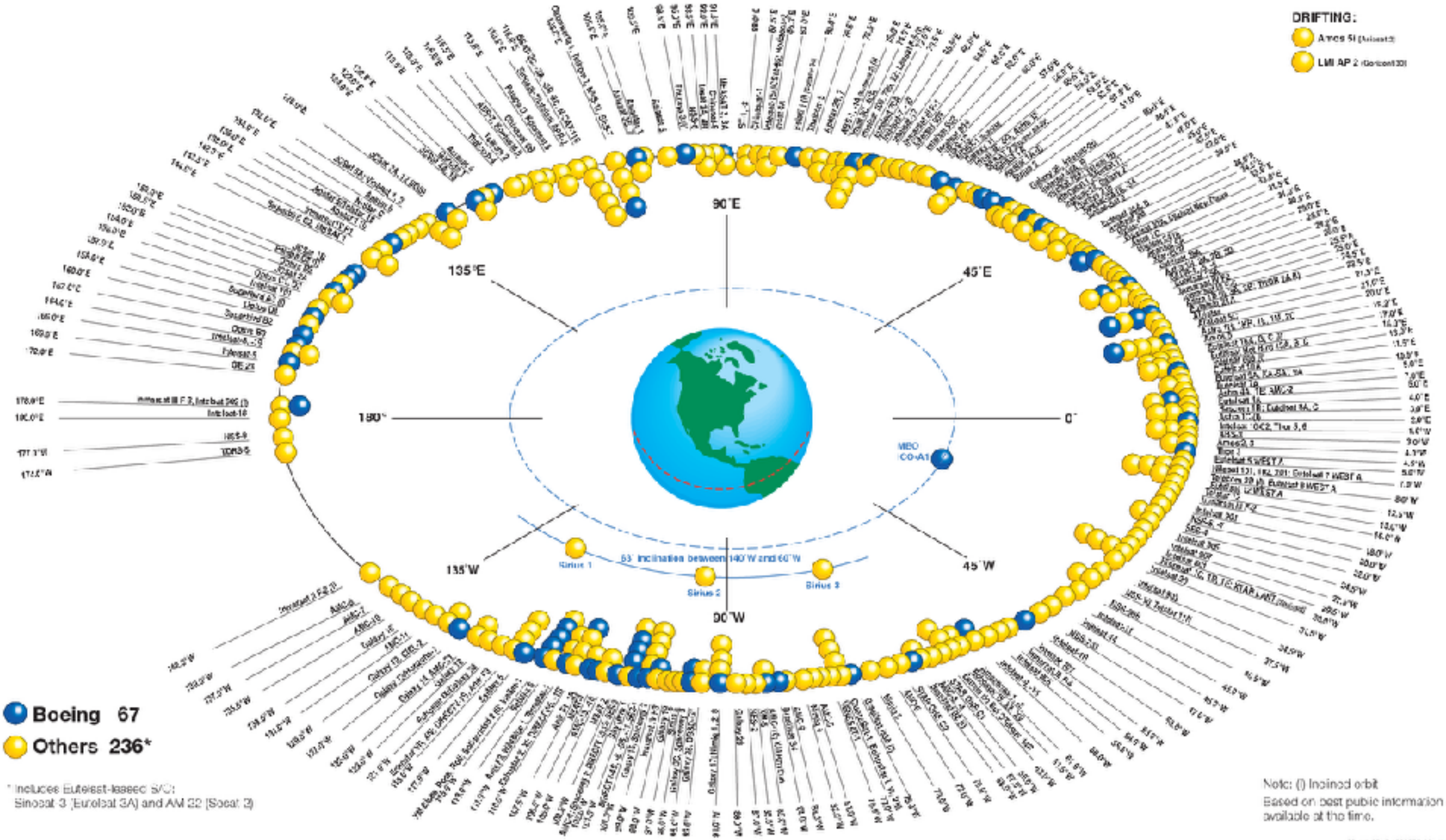




$$c \approx 3 \times 10^8 m/s$$ (課題 5)

周波数帯	下向きリンク	上向きリンク	帯域幅	問題点
L	1.5GHz	1.6GHz	15MHz	低帯域幅，混雑
S	1.9GHz	2.2GHz	70MHz	低帯域幅，混雑
C	4.0GHz	6.0GHz	500MHz	地上の妨害
Ku	11GHz	14GHz	500MHz	雨
Ka	20GHz	30GHz	3500MHz	雨，設備費用

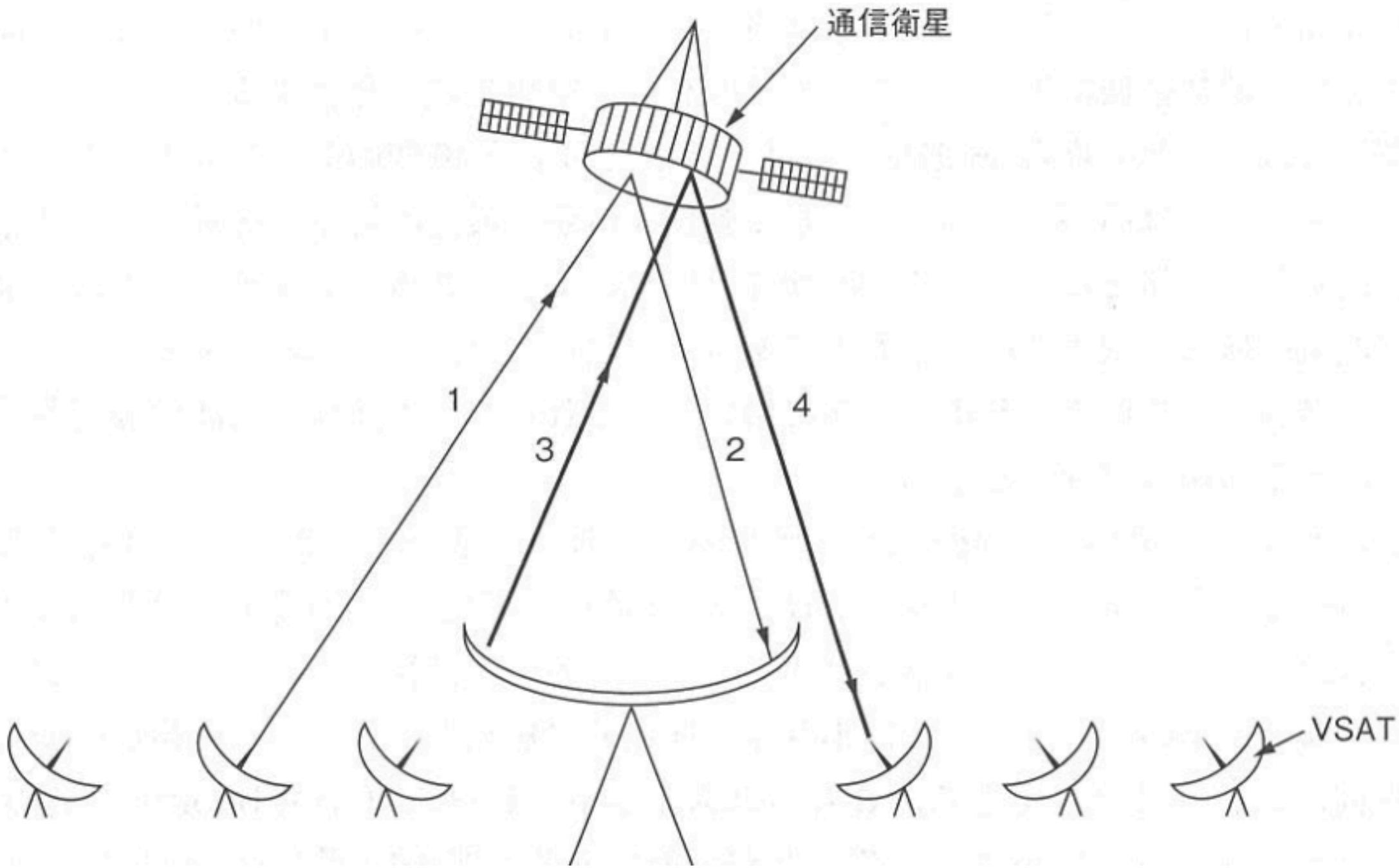
Commercial Communications Satellites
Geosynchronous Orbit



* Includes Eutelsat-leased S/C: Sinosat 3 (Eutelsat 3A) and AM 22 (Sesat 2)

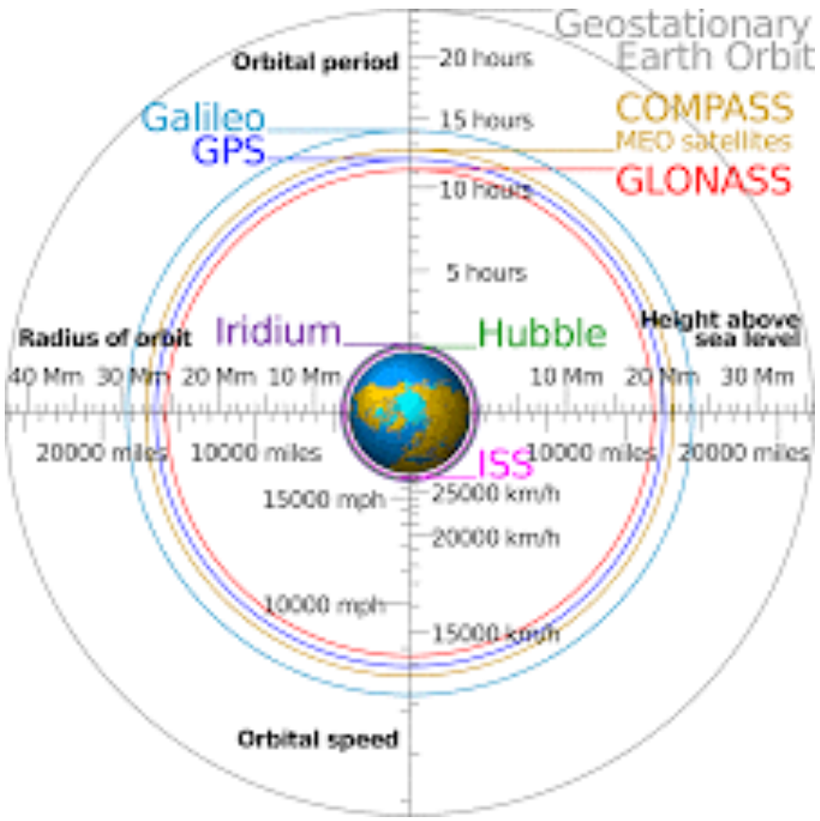
Note: (i) Inclined orbit
Based on best public information available at the time.

VSAT

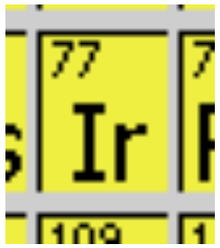


end-to-end transit time is 270 msec (540 msec for a VSAT system with a hub).

低軌道衛星

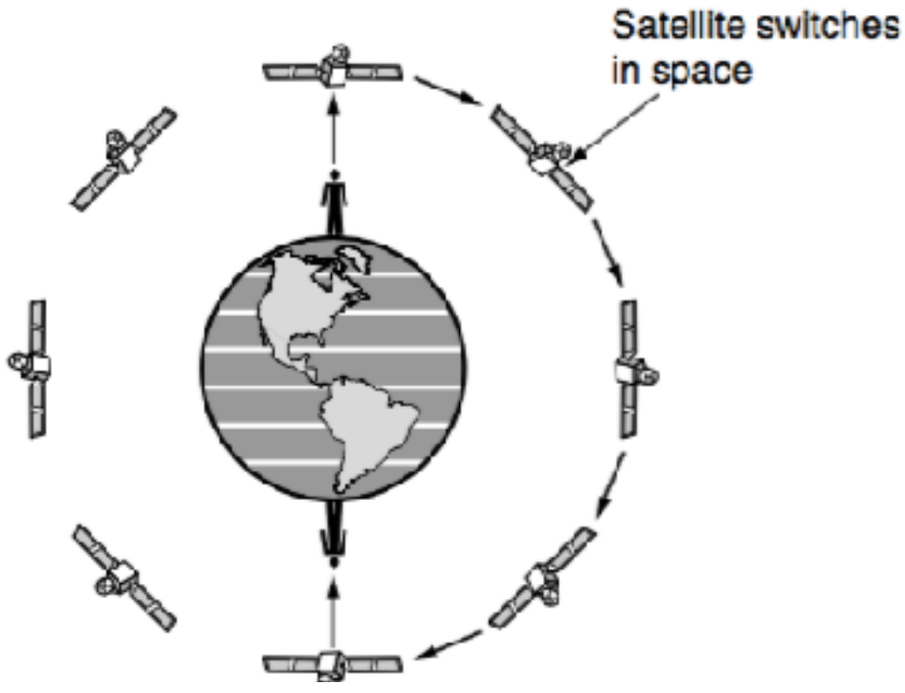


77 satellites

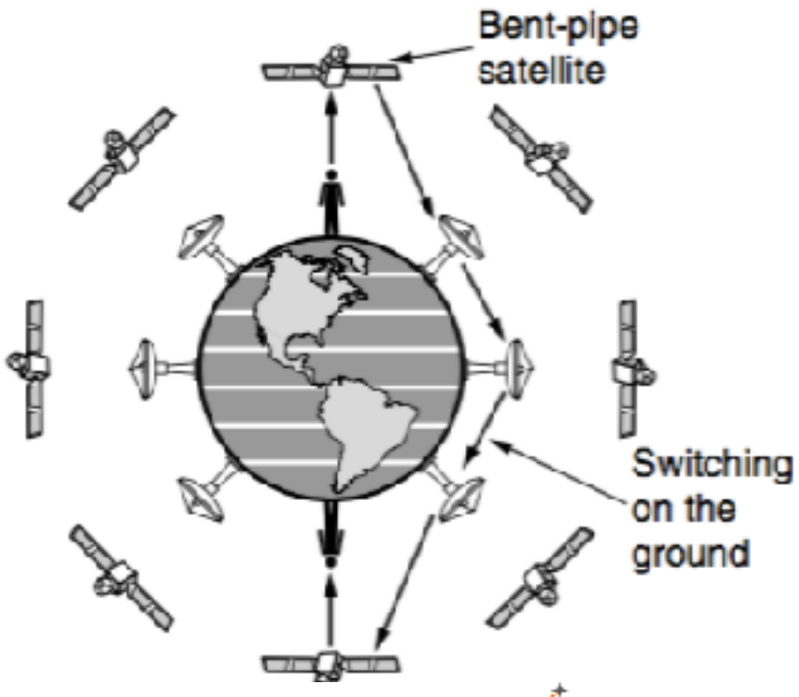


August 1999 bankrupt

March 2001 restart



iridium



Globalstar

講義日程

		授業計画		課題
04/11	第１回	計算機ネットワークの基本概念 ハードウェア・ソフトウェア，参照モデル	１章	ネットワークの種類と参照モデルを理解し プロトコル階層と各層の設計課題
04/14	第２回	物理層１ 有線伝送と無線伝送	２章	物理チャネルの特性を理解し データ通信の理論的基礎を理解
04/18	第３回	物理層２ デジタル変調と多重化	２章	ベースバンド伝送と通過帯域伝送， 電話網，携帯電話システムを説明できる
04/21	第４回	データリンク層１ 誤りの検出・訂正	３章	誤りの検出・訂正のしくみを理解し 検出・訂正符号の計算ができる
04/25	第５回	データリンク層２ データリンク・プロトコル	３章	データリンク・プロトコルの種類， 各プロトコルを定量的に評価できる
04/28	第６回	メディア・アクセス副層１ ブロードキャスト・チャネル	４章	多重アクセス・プロトコルを理解し データ・レートを計算できる
05/02	第７回	メディア・アクセス副層２ 無線 LAN，Bluetooth, RFID	４章	個別のプロトコル・スタックを理解し データリンク層スイッチングを理解
05/09	第８回	理解度確認総合演習 (中間試験) 第１回から第７回までの内容の演習形式による確認		第１回から第７回までの理解度確認と 到達度自己評価