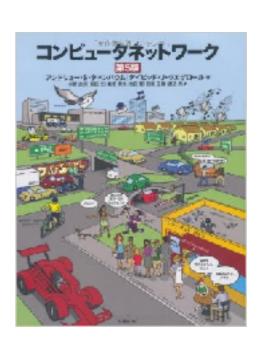
コンピュータネットワーク

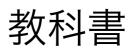
開講クォーター: IQ

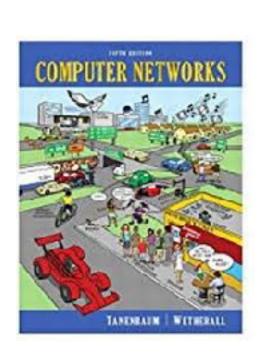
曜日·時限:火、金I-2限

講義室: SOII

横田理央 rioyokota@gsic.titech.ac.jp







参考書

講義日程

| 1 | | | | and hard |
|---------------------|--------------|------------------------|----------------|---------------------|
| | | 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 | 1章 | ネットワークの種類と参照モデルを理解し |
| U -1 /1U | | ハードウェア・ソフトウェア、参照モデル | l 무 | プロトコル階層と各層の設計課題 |
| 04/12 | 第2回 | 物理層 1 | 2章 | 物理チャネルの特性を理解し |
| 04/13 | | 有線伝送と無線伝送 | ∠ 早 | データ通信の理論的基礎を理解 |
| 04/17 | ₩ 0 ⊟ | 物理層 2 | o 本 | ベースバンド伝送と通過帯域伝送, |
| 04/17 | 第3回 | デジタル変調と多重化 | 2章 | 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 | っ 立 | 誤りの検出・訂正のしくみを理解し |
| 04/20 | | 誤りの検出・訂正 | 3章 | 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 | 2 幸 | データリンク・プロトコルの種類, |
| 04/24 | | データリンク・プロトコル | 3章 | 各プロトコルを定量的に評価できる |
| 04/27 | 44 C III | メディア・アクセス副層 1 | ۸ غ | 多重アクセス・プロトコルを理解し |
| 04/27 | 第6回 | ブロードキャスト・チャネル | 4章 | 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 | 4 37 | 個別のプロトコル・スタックを理解し |
| 05/01 | | 無線 LAN,Bluetooth, RFID | 4章 | データリンク層スイッチングを理解 |
| 05/00 | 第8回 | 理解度確認総合演習 (中間試験) | | 第1回から第7回までの理解度確認と |
| 05/08 | | 第1回から第7回までの内容の演習形式による | る確認 | 到達度自己評価 |
| | | | | |

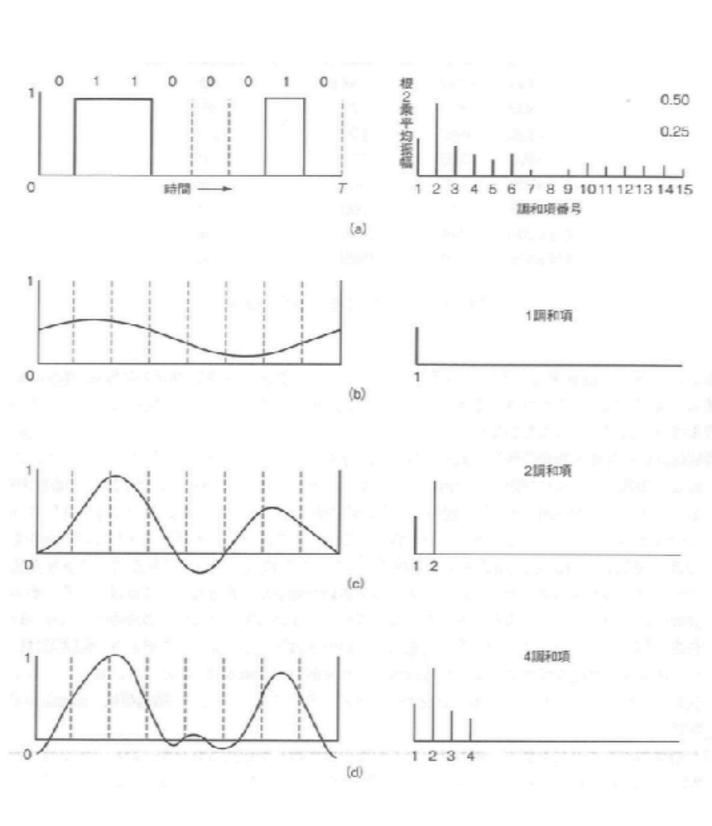
フーリエ変換

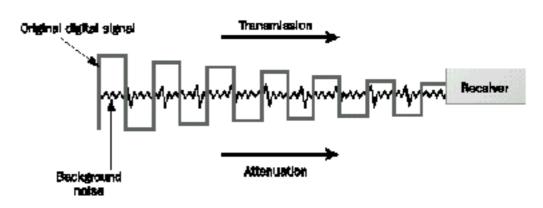
$$\hat{f}(\xi) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-2\pi i x \xi} dx,$$

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



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 *--

B: 低域通過フィルタ周波数 [Hz]

V:信号の階調の数

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

(課題 2)

$$2B\log_2(M) = B\log_2\left(1+rac{S}{N}
ight)$$
 $M = \sqrt{1+rac{S}{N}}$ 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

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

S:信号の大きさ

N:雑音の大きさ

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



Claude Elwood Shannon (1916-2001)

(課題 I, 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

B: 低域通過フィルタ周波数 [Hz]

V:信号の階調の数

(課題 2)

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

 $V = 2^{M-2}$

信号の階調の数 = 2ⁿ n bits/symbol (bit rate) = (symbol rate) \times 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

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

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



Claude Elwood Shannon (1916-2001)

₹題 1,3,4)

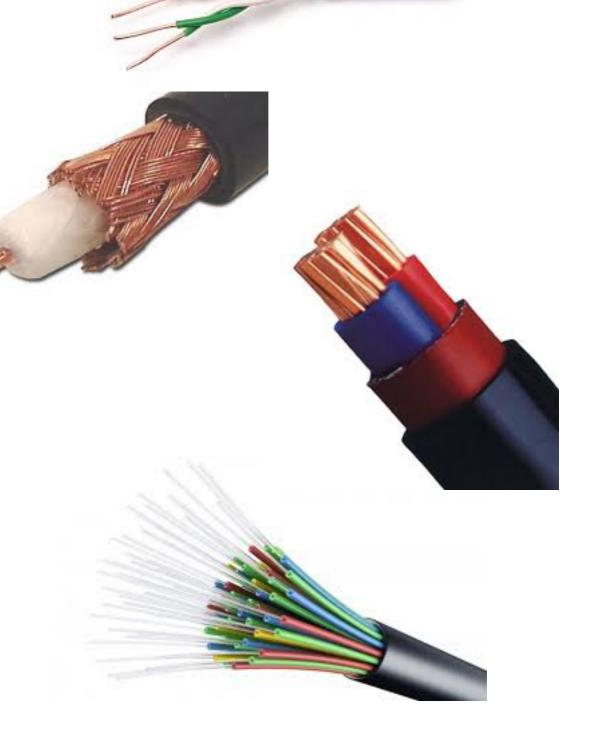
Guided transmission media (有線伝送)

I. Twisted pairs (より対線)



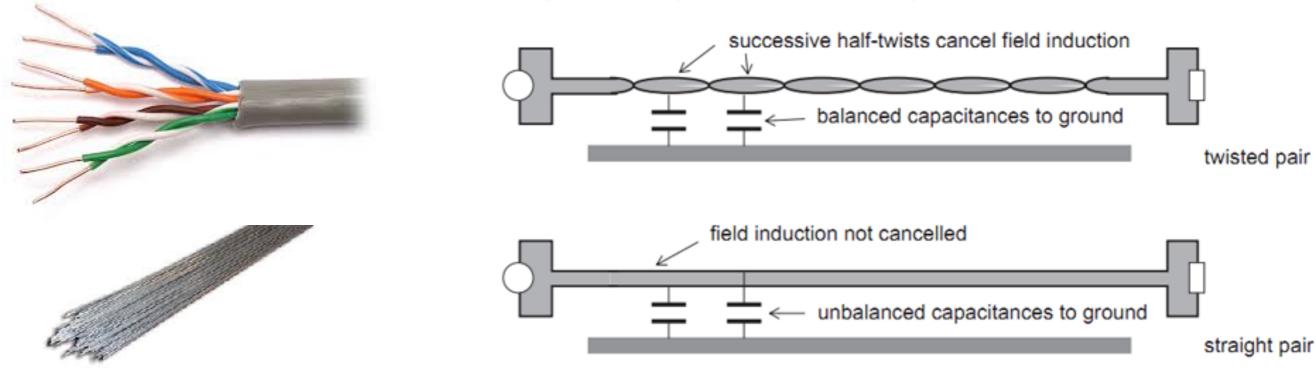
3. Power lines (電力線)

4. Fiber optics (光ファイバ)



Telephone 45Mbps → Fiber optics 100 Gbps

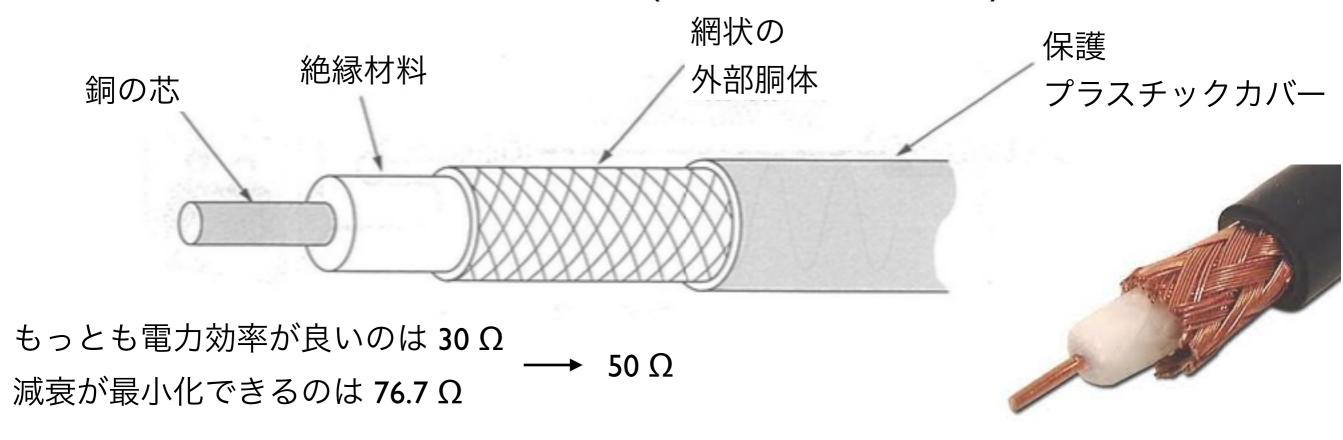
Twisted pairs (より対線)



| 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 1Mbps | - | Twisted Pair | Token Ring Networks | |
| CAT3 | Up to 10Mbps | 1 00m | Twisted Pair | Token Rink & 10B∧SE-T Ethernet | |
| CAT4 | Up to 16Mbps | 1 00m | Twisted Pair | Token Ring Networks | |
| CAT5 | Up to 100Mbps | 1 00m | Twisted Pair | Ethernet, FastEthernet, Token Ring | |
| CAT5e | Up to 1 Gbps | 1 00m | Twisted Pair | Ethernet, FastEthernet, Gigabit Ethernet | |
| CAT6 | Up to 10Gbps | 1 00m | 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) | |



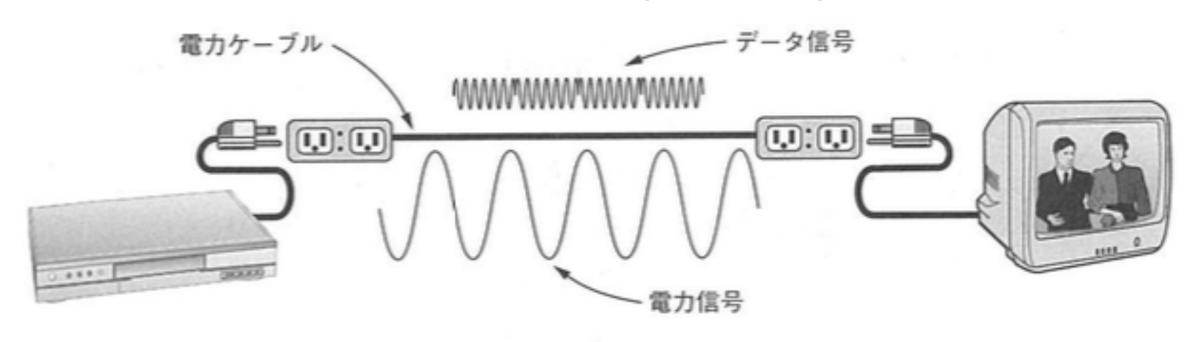
Coaxial cable (同軸ケーブル)



Data Over Cable Service Interface Specification (DOCSIS)

| Channel con | Downstream | Upstream throughput | | | |
|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|--|
| Number of downstream channels | Number of upstream channels | DOCSIS | EuroDOCSIS | Opstream throughput | |
| 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)

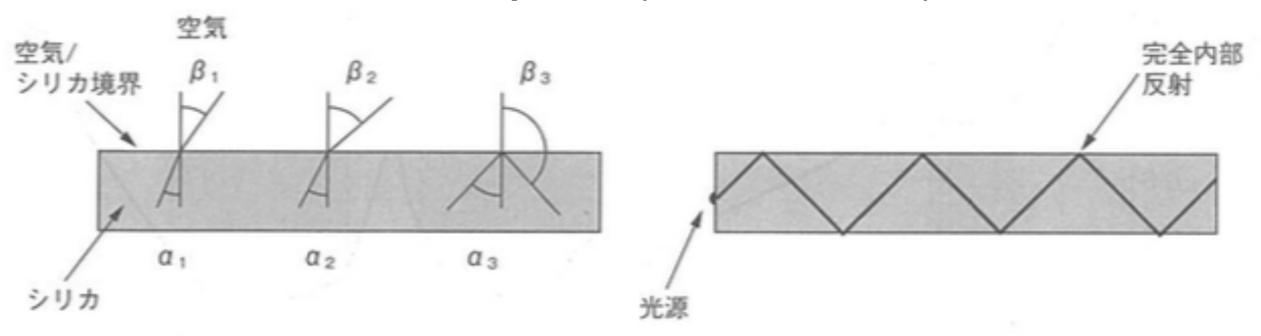


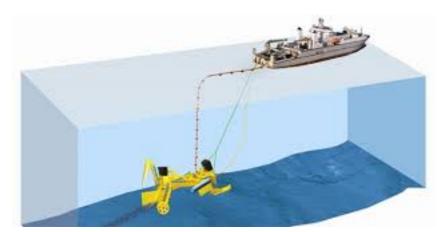
遮蔽されていないとアンテナとして働いてしまう

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



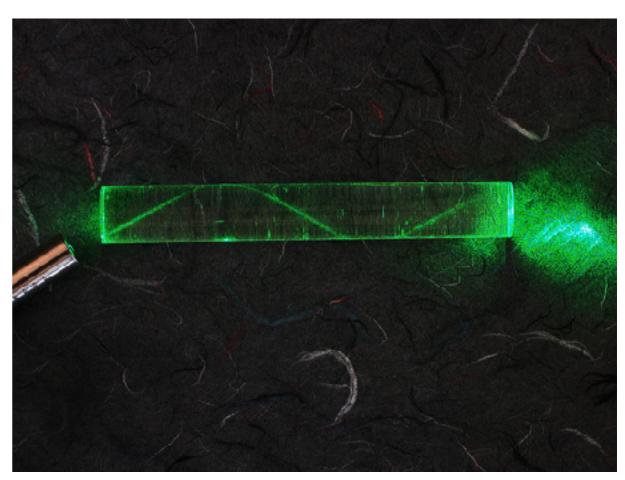
Fiber optics (光ファイバ)





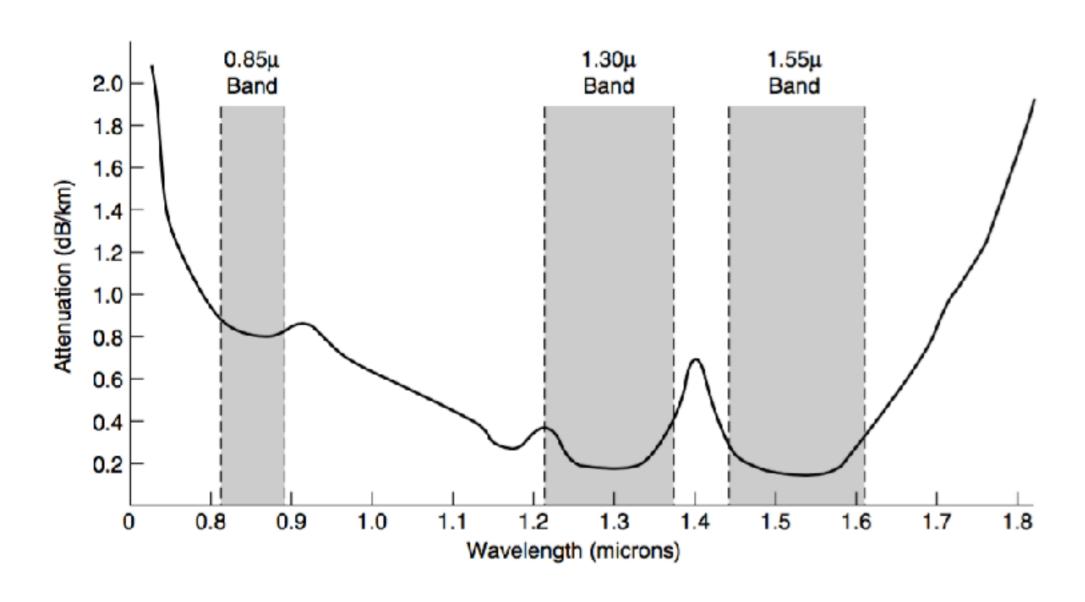
100km without amplification

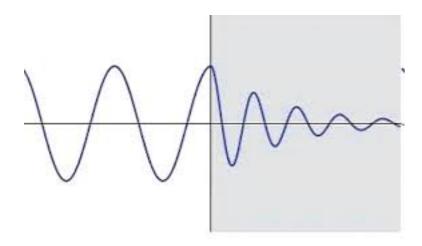


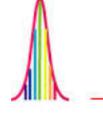


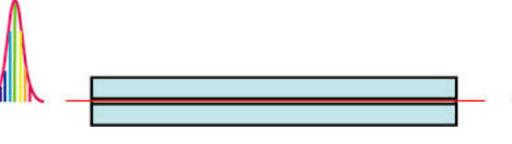
https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_fiber

ファイバを通過した光の伝送







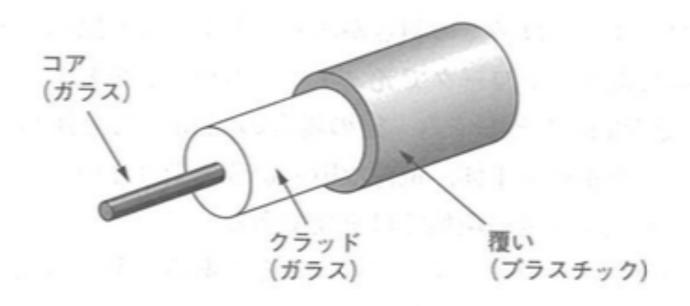


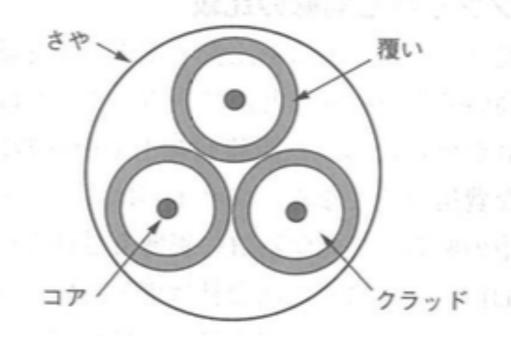


Attenuation

Chromatic dispersion

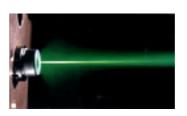
ファイバ・ケーブル





光源



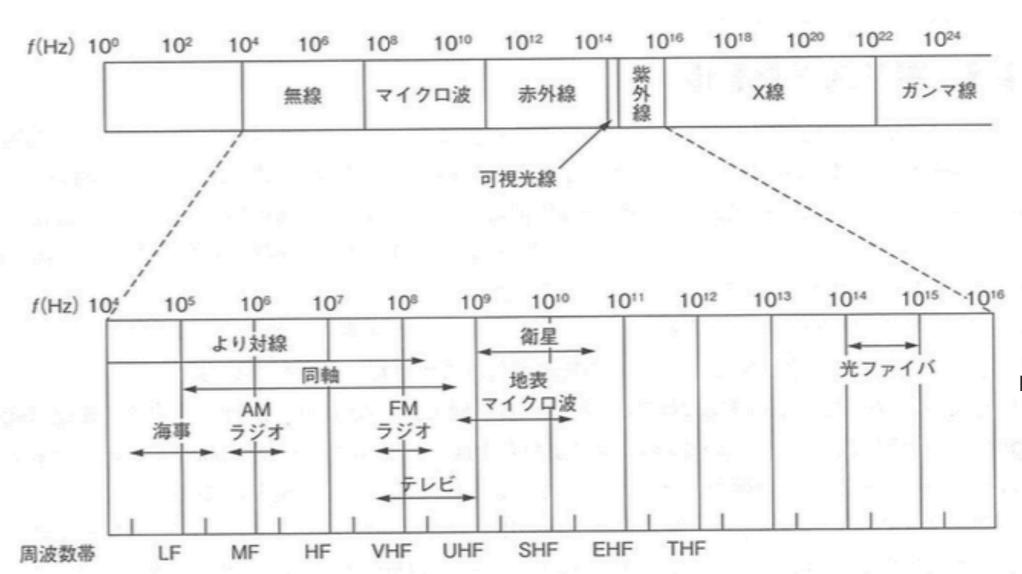


| 項目 | LED | 半導体レーザー | | |
|---------|--------|-------------------|--|--|
| データ転送速度 | 低 | 高 | | |
| ファイバの種類 | マルチモード | マルチモードまたはシングル・モード | | |
| 距離 | 短い | 長い | | |
| 寿命 | 長寿命 | 短寿命 | | |
| 温度の影響 | 小さい | 大きい | | |
| 費用 | 低価格 | 高価 | | |



末松栄誉教授・元学長

Wireless transmission (無線伝送)





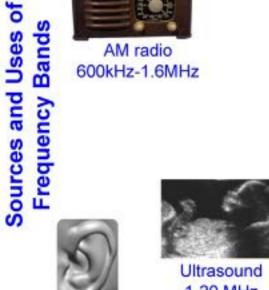
Heinrich Rudolf Hertz (1857–1894)

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

 λ : wavelength

$$\lambda f = c$$

Chart of the Electromagnetic Spectrum man's height paperclip cells atom **thickness** subatomic bacteria paper particles → baseball water molecule football field thickness 1 ft 1 nm 1 pm 1 cm 1 mm 1 mil μ, 10^{2} 10-2 10^{3} 10-1 10^{-3} 10-5 10-8 10-9 10-11 10 10-6 10^{-7} 10-10 10-4 10-12 (cm-1) 10-5 10^{-3} 10-2 106 105 107 10-4 10-1 10 10^{2} 10^{3} 104 108 109 1010 10^{-8} 10-7 10-6 10-5 10-4 10-3 10-2 10² 10^{3} 105 10⁶ 10-1 (eV) 10-9 10 104 1 GHz 1 PHz 1 EHz 1 ZHz 1 MHz 1 THz 1010 1019 1020 106 107 108 109 1011 1012 1015 1017 1018 1021 1013 1014 1016 Radio Spectrum Terahertz Infrared **Ultraviolet** X-ray Gamma Near UV Extreme UV **Broadcast and Wireless** Far IR Mid IR Microwave Soft X-ray Hard X-ray electronics Visible wavelengths (nm) Fiber telecom **Dental Curing** 0.7-1.4 µ 200-350nm Medical X-rays FM radio 10-0.1 Å Mobile Phones AM radio 88-108 MHz 900MHz-2.4GHz 600kHz-1.6MHz Radar Cosmic ray Visible Light 1-100 GHz observations Bio imaging 425-750THz <<1 Å 1-10 THz 700-400nm Baggage screen Remotes 10-1.0 Å TV Broadcast Wireless Data 850 nm



reference

wavelength

wavenumber

electron volt

(Hz)

105

frequency

Bands

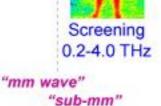
λ (m)

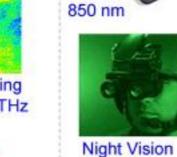
Size





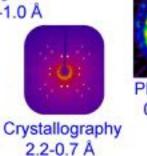


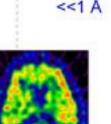




10-0.7 µ

Suntan 400-290nm



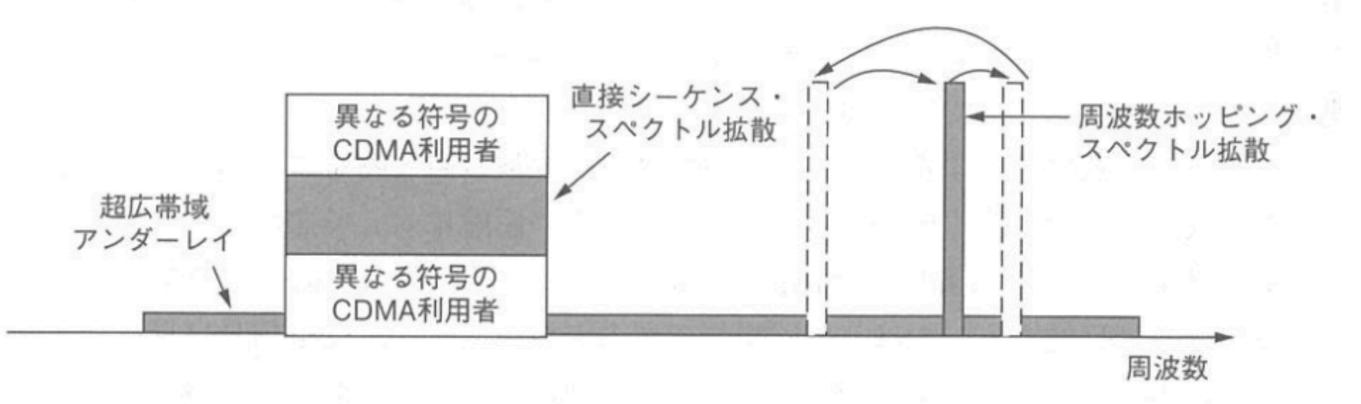


PET imaging 0.1-0.01 Å

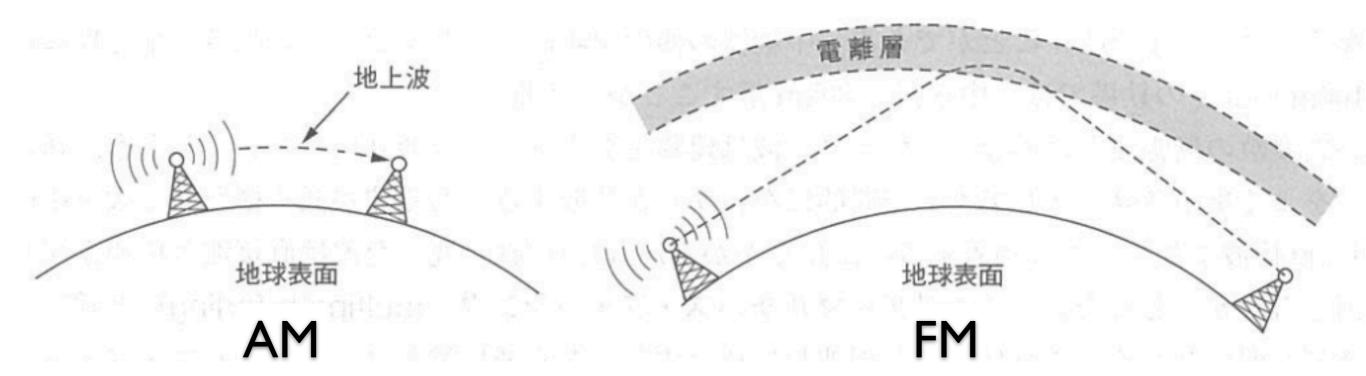
Sound Waves

← 20Hz-10kHz

広い周波数帯を利用した伝送



無線伝送

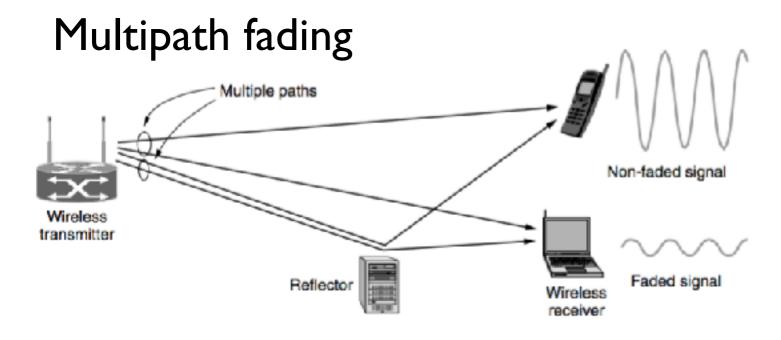


マイクロ波伝送

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



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

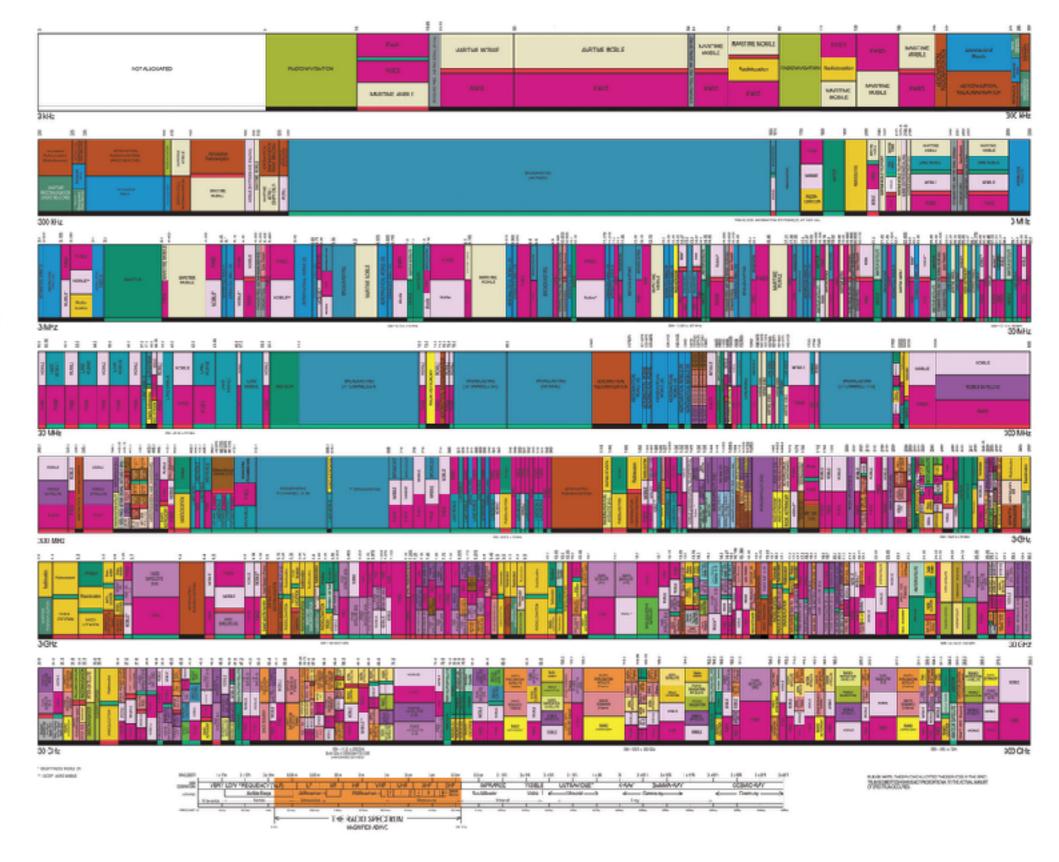
THE RADIO SPECTRUM



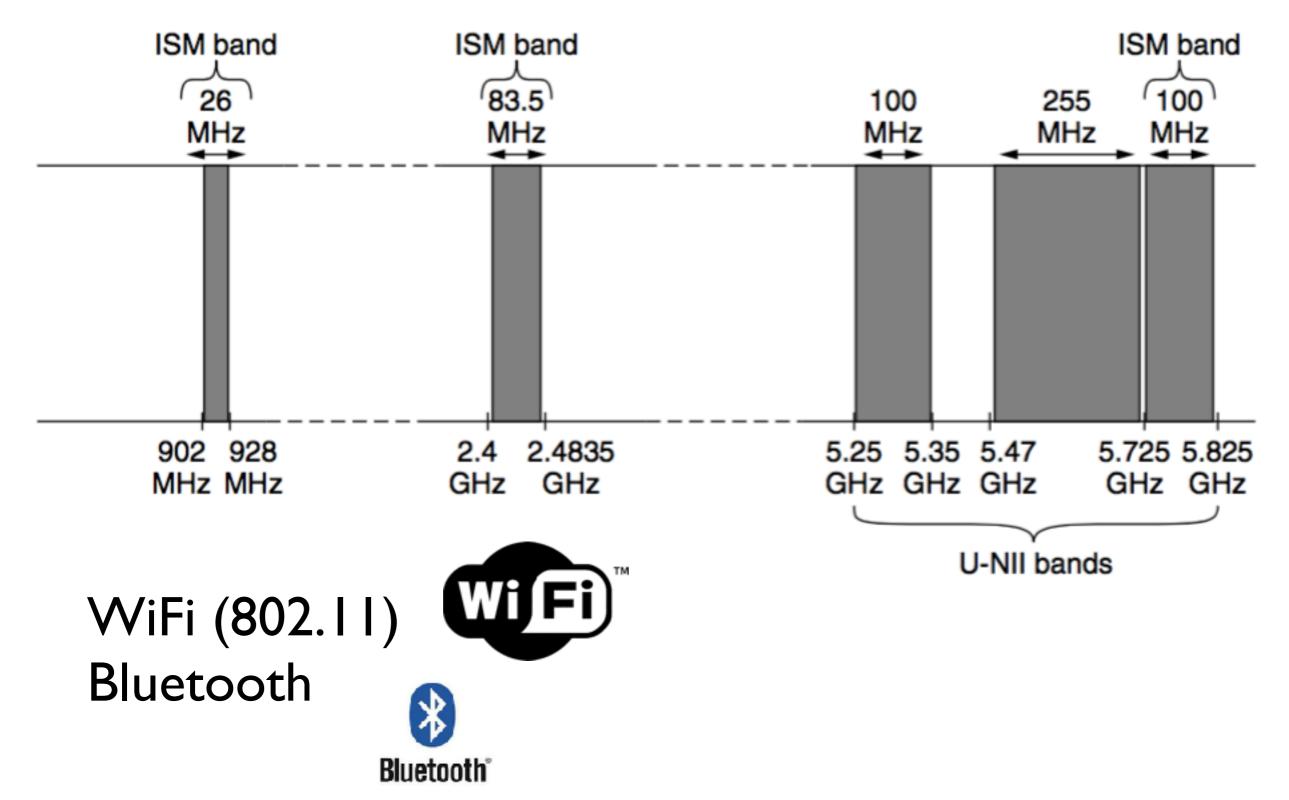
ALLOCATION USAGE DESIGNATION

| SERVES | SURE! | DESCRIPTION. |
|------------|--------|--------------------------------------|
| money | PARK | captar carriers |
| Secretary. | Mohite | for Capital with toward pass letters |

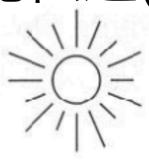


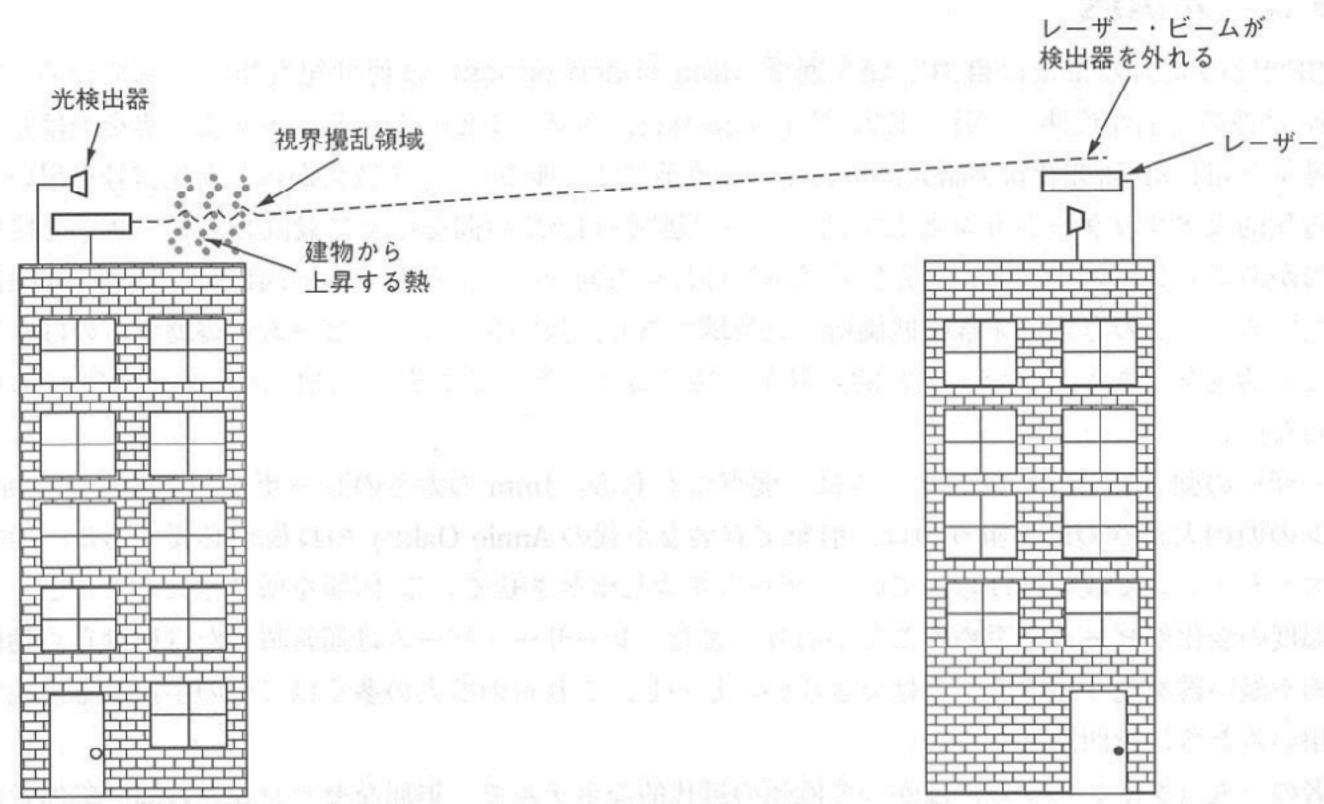


ISM (Industrial, Scientific, Medical)



光伝送(レーザー)





Orbital period

15000 mph -

10000 mph-

Orbital speed

Galileo. GPS

Radius of orbit Iridium

40 Mm 30 Mm 20 Mm 10 Mm

20000 miles 10000 miles

-20 hours

15 hours

10 hours

5 hours

-25000 km/h

20000 km/h

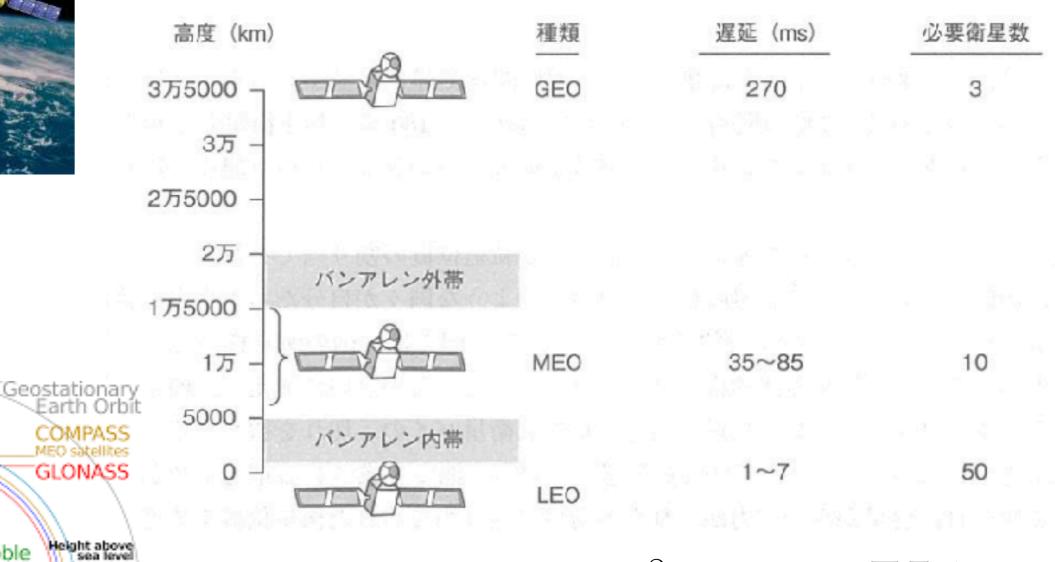
15000 korth

.Hubble

10 Mm

20000 miles

通信衛星



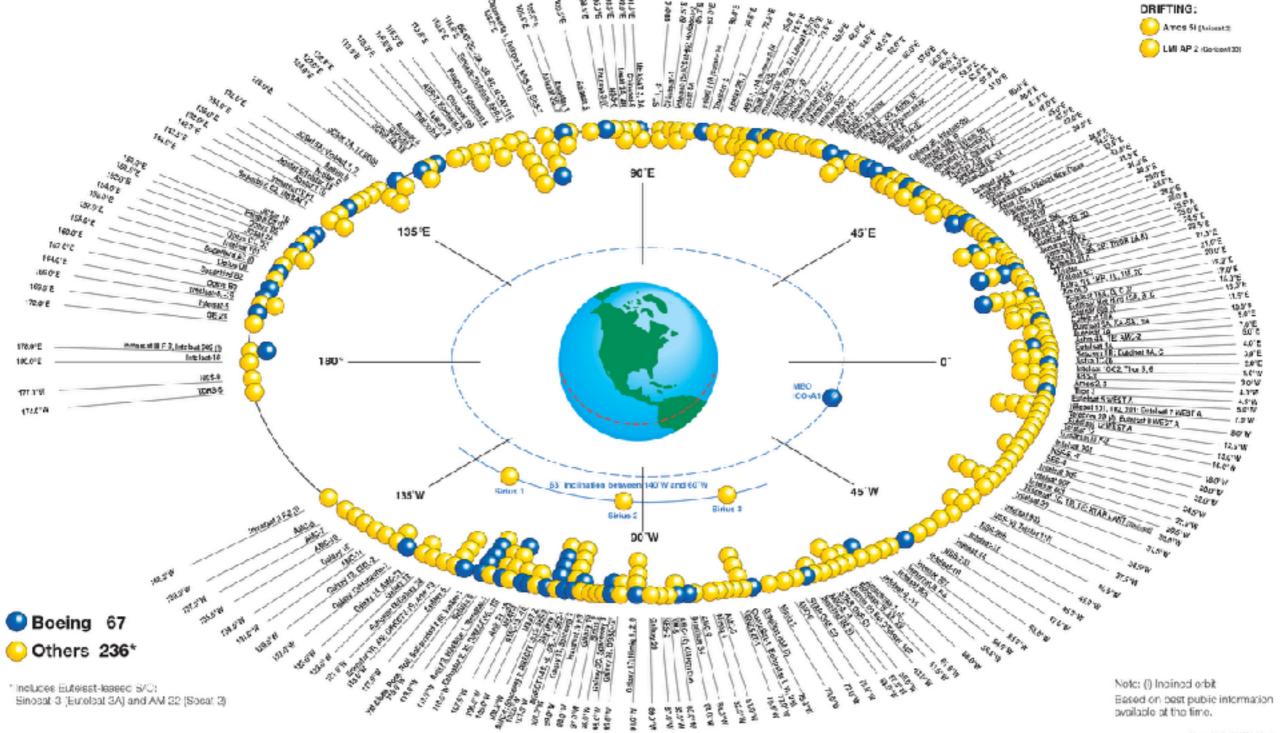


(課題 5)

| 周波数帯 | 下向きリンク | 上向きリンク | 帯域幅 | 問題点 |
|--------|--------|--------|---------|----------|
| 9 9 90 | 1.5GHz | 1.6GHz | 15MHz | 低帯域幅, 混雑 |
| S | 1.9GHz | 2.2GHz | 70MHz | 低帯域幅, 混雑 |
| С | 4.0GHz | 6.0GHz | 500MHz | 地上の妨害 |
| Ku | 11GHz | 14GHz | 500MHz | 雨 |
| Ка | 20GHz | 30GHz | 3500MHz | 雨,設備費用 |

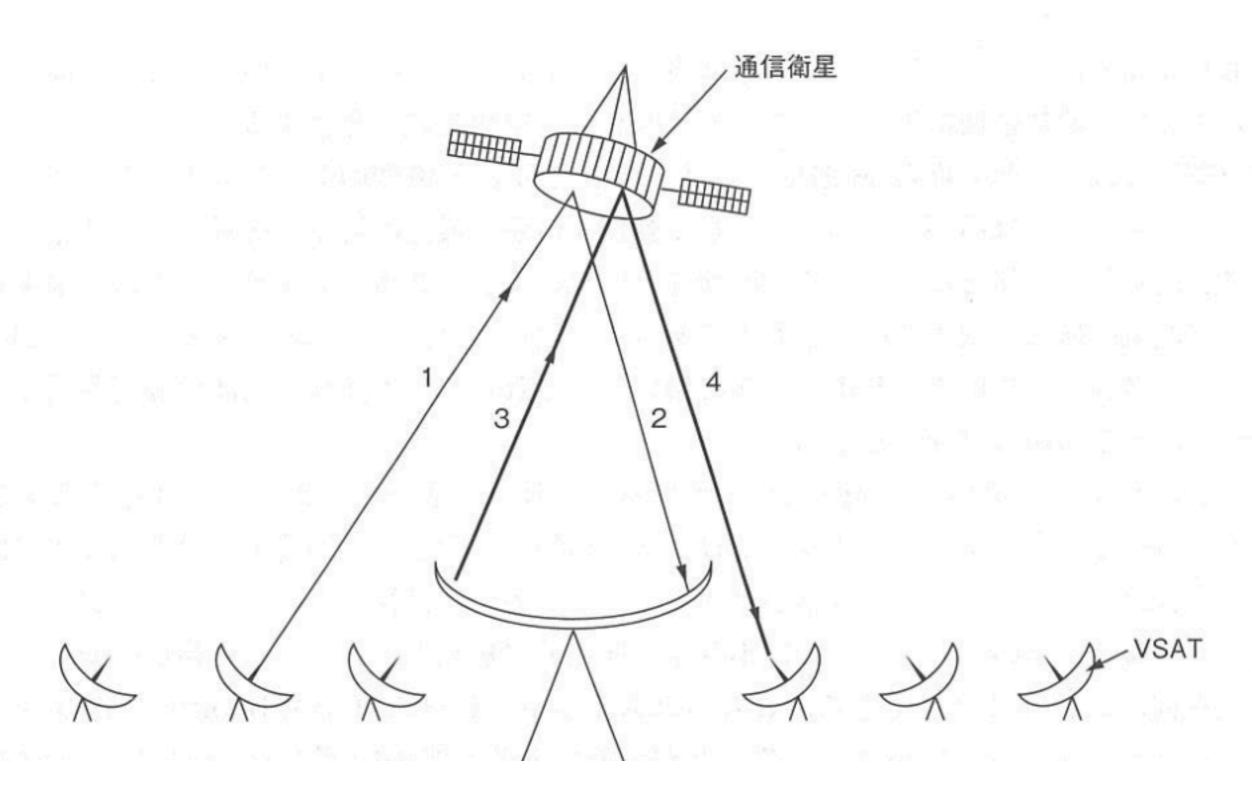


Commercial Communications Satellites Geosynchronous Orbit



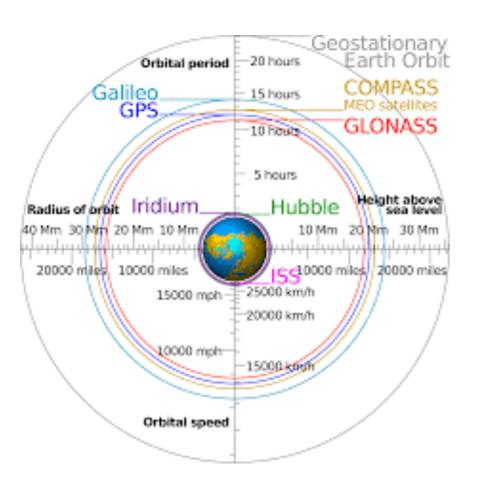
30-July 2012 / 228259-001 a

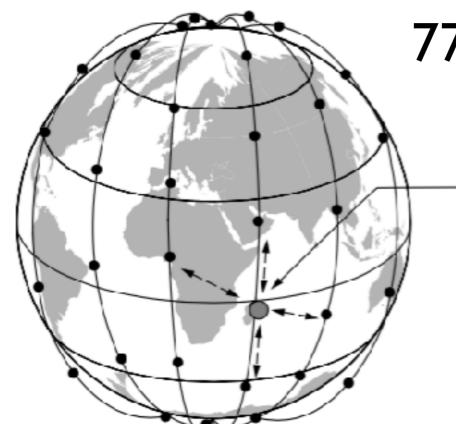
VSAT



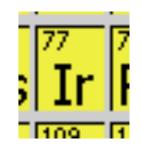
end-to-end transit time is 270 msec (540 msec for a VSAT system with a hub).

低軌道衛星







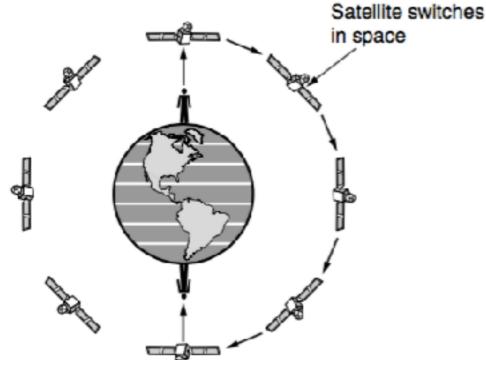


Each satellite has four neighbors













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 | 1章 | ネットワークの種類と参照モデルを理解し |
| 04/11 | | ハードウェア・ソフトウェア、参照モデル | I 무 | プロトコル階層と各層の設計課題 |
| 04/14 | ## O 🗔 | 物理層 1 | ٥ ٠ | 物理チャネルの特性を理解し |
| 04/14 | 第2回 | 有線伝送と無線伝送 | 2章 | データ通信の理論的基礎を理解 |
| 04/10 | 鉄り同 | 物理層 2 | o 幸 | ベースバンド伝送と通過帯域伝送, |
| 04/18 | 第3回 | デジタル変調と多重化 | 2章 | 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 | 3章 | 誤りの検出・訂正のしくみを理解し |
| 0 4 /21 | | 誤りの検出・訂正 | | 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 | 3章 | データリンク・プロトコルの種類, |
| U 1 /23 | | データリンク・プロトコル | 3 早 | 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 | 4章 | 多重アクセス・プロトコルを理解し |
| 0 4 /20 | 分り四 | ブロードキャスト・チャネル | 4무 | 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 | <u>م ب</u> | 個別のプロトコル・スタックを理解し |
| 03/02 | | 無線 LAN, Bluetooth, RFID | 4章 | データリンク層スイッチングを理解 |
| 05/00 | 第8回 | 理解度確認総合演習 (中間試験) | | 第1回から第7回までの理解度確認と |
| 05/09 | | 第1回から第7回までの内容の演習形式による | 6確認 | 到達度自己評価 |
| | | | | |