

# Maxwellの方程式と 電磁波



電磁気

# Maxwellの方程式

## 電磁気学の基礎方程式

- ・・・それまでの電磁気学研究の集大成  
J.C.Maxwell    ~    1861ごろ完成

電気と磁気を統一的に理解

電磁波の「発見」： 光＝電磁波の1種

# 電磁場の量

**E**電場 と **H**磁場 ... 力

**D**電束密度 と **B**磁束密度... 力線

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} \qquad \vec{B} = \mu_0 \vec{H}$$

# Maxwell方程式の積分形

閉曲面Sについて

電場のガウスの法則

$$\sum_S D_n \Delta S = \sum_{S \text{ の } q} q$$

閉曲線C縁の面Sについて

アンペールの法則

$$\sum_C I = \sum_S \frac{dD_n}{dt} \Delta S$$

磁場のガウスの法則

$$\sum_S B_n \Delta S = 0$$

ファラデーの法則

$$-\sum_C E_t \Delta s = \sum_S \frac{dB_n}{dt} \Delta S$$

詳細は教科書を

# 電磁場という統一場

場は実在である

エネルギー密度

$$U = \frac{1}{2} \varepsilon_0 |\vec{E}|^2 + \frac{1}{2} \mu_0 |\vec{H}|^2$$

運動量密度 (ポインティングベクトル)

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$$

# 電磁波

- Maxwellが1860年代に理論的に予言
- 1888年Hertzが実験的に検証

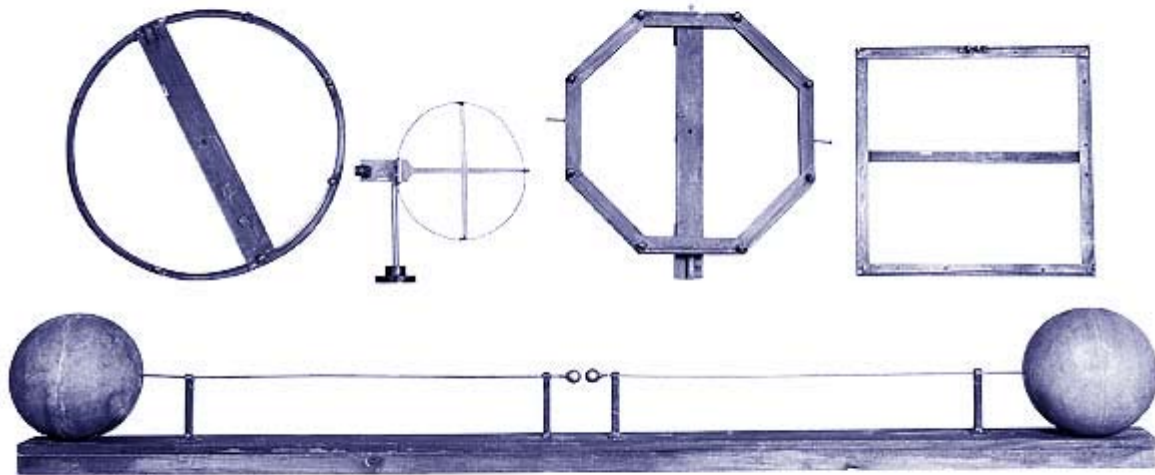
→ 理論の正しさを検証

電磁場という統一場理論の完成





## Hertz とその実験装置 (Deutsches Museum)

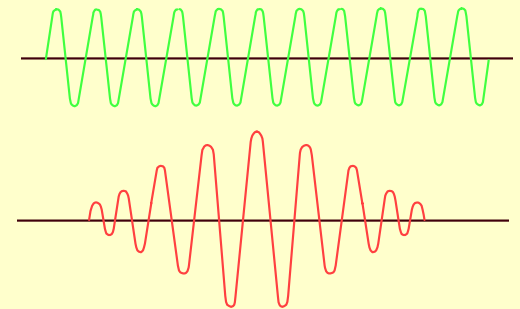


# 電磁波

## Maxwellの方程式の理論的帰結

- 電場と磁場が空間を波動として伝わる
- 横波である
- 電場と磁場は直交している
- 方程式の解によれば波の速度は

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$$



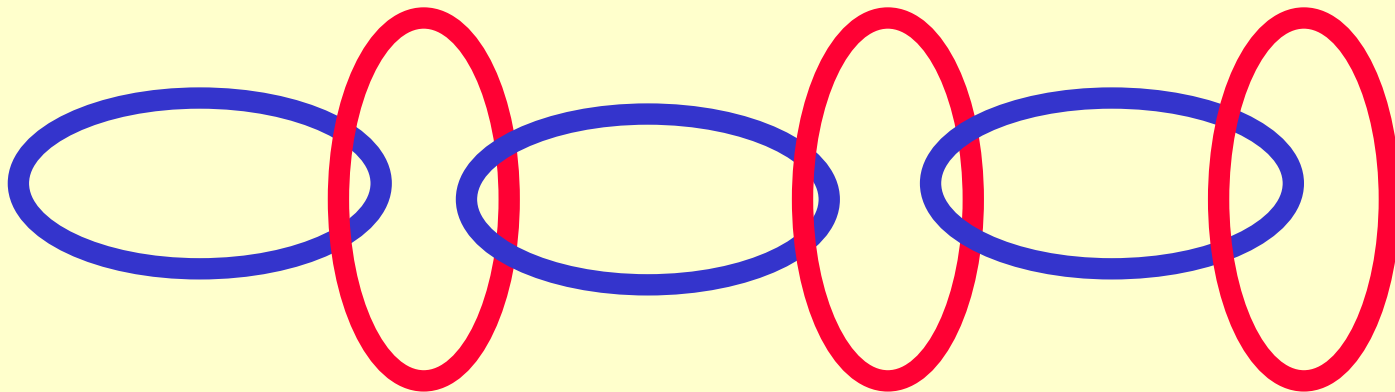


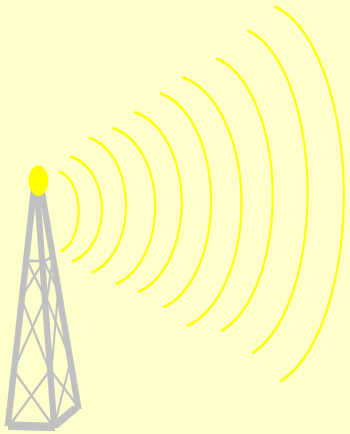
# 電磁波の伝播

## Maxwell方程式

電場の変化 → 磁場 (アンペール: 変位電流)

磁場の変化 → 電場 (ファラデー: 電磁誘導)





# 電磁波の分類

→テキスト p.179

波動

速度 = 波長 × 振動数

$$c = 3.0 \times 10^8 [m / s]$$

長波  
中波  
短波  
超短波  
マイクロ波  
赤外線  
可視光線  
紫外線  
X線  
ガンマ線

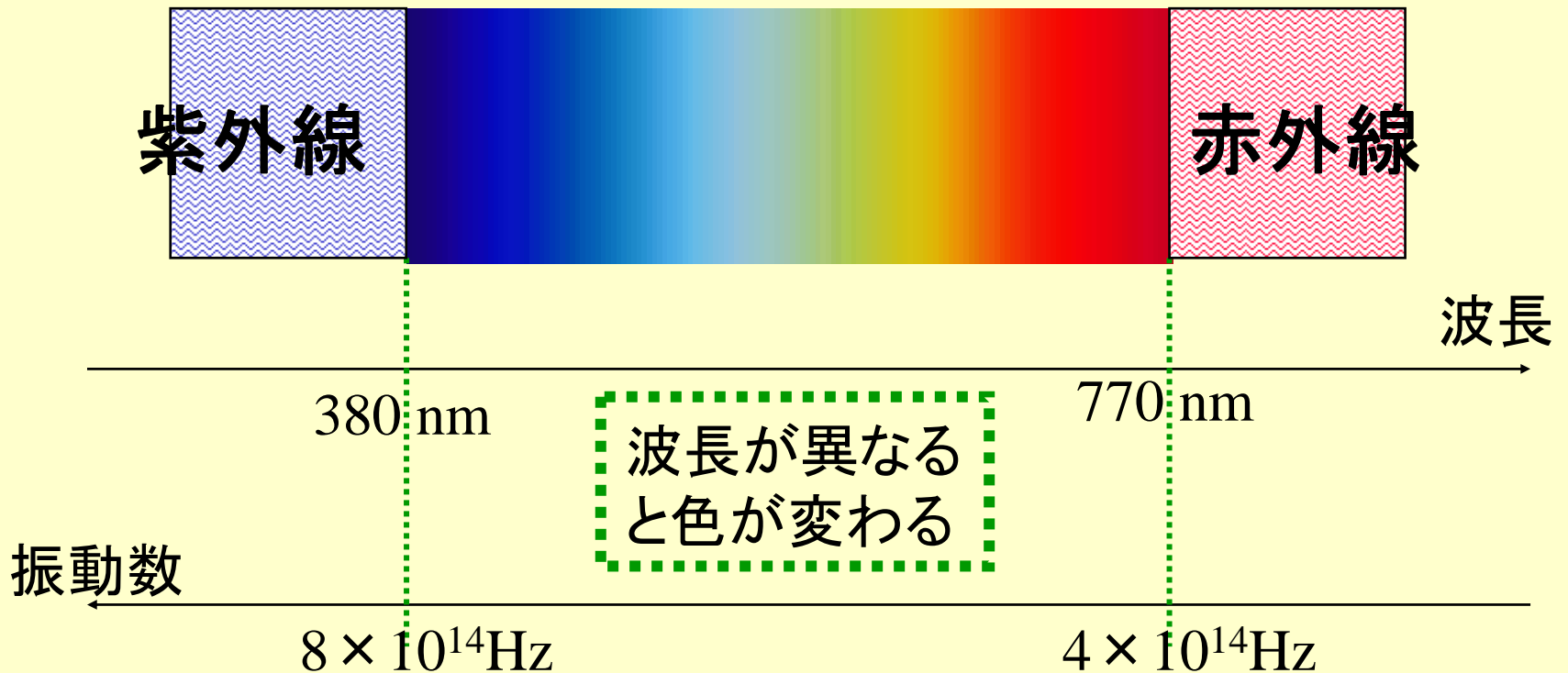
長い

波長

短い

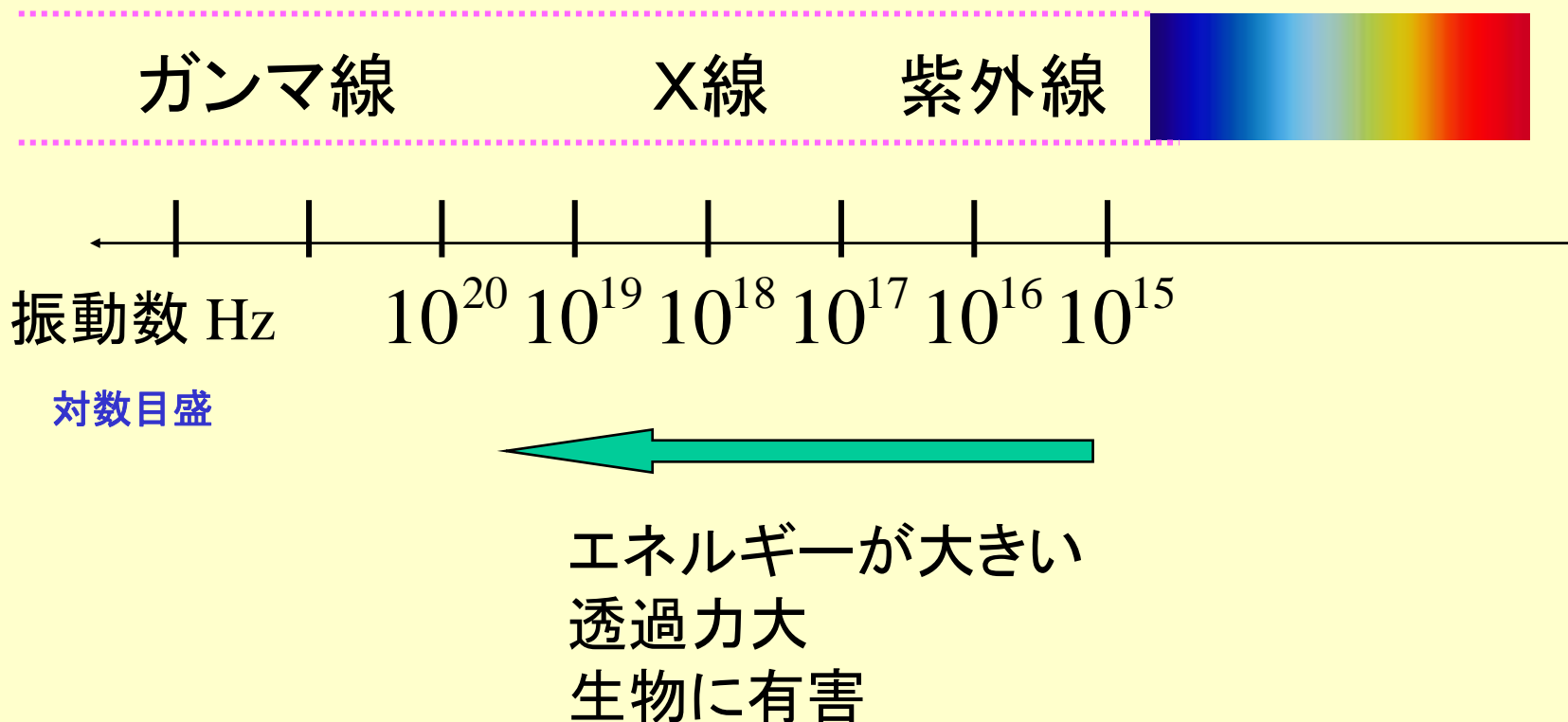
# 光

電磁波のうち、人間の眼が感じる範囲が「光」



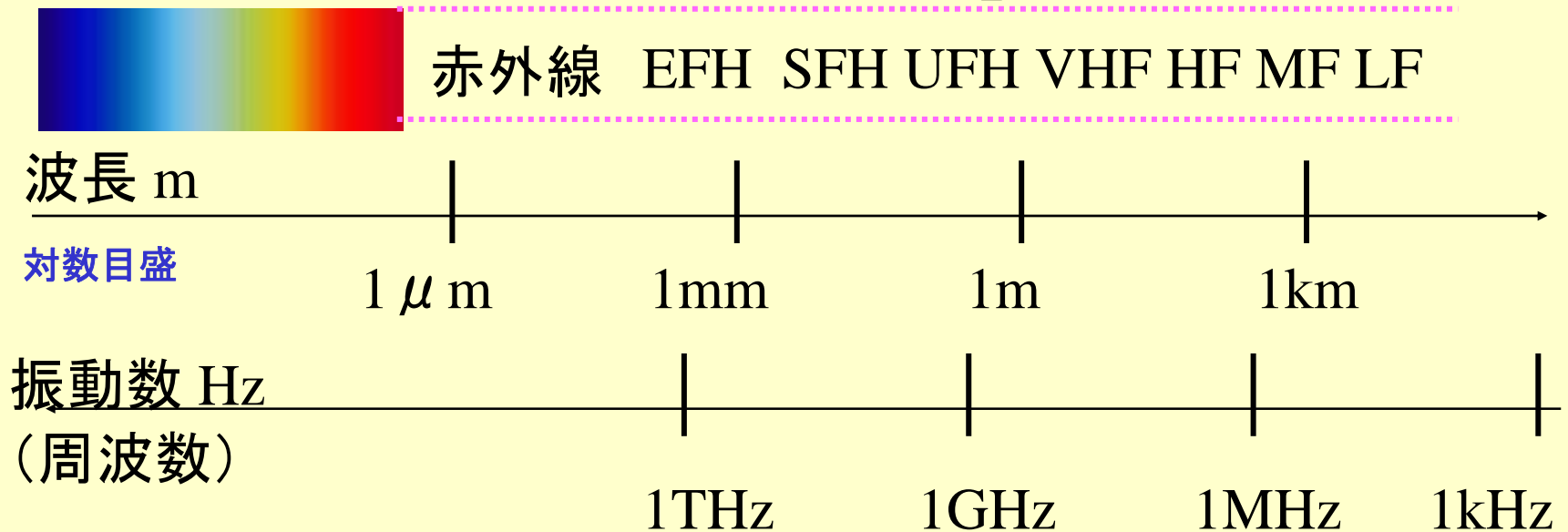
注意：「色＝波長」ではありません

# 電磁波



# 電磁波

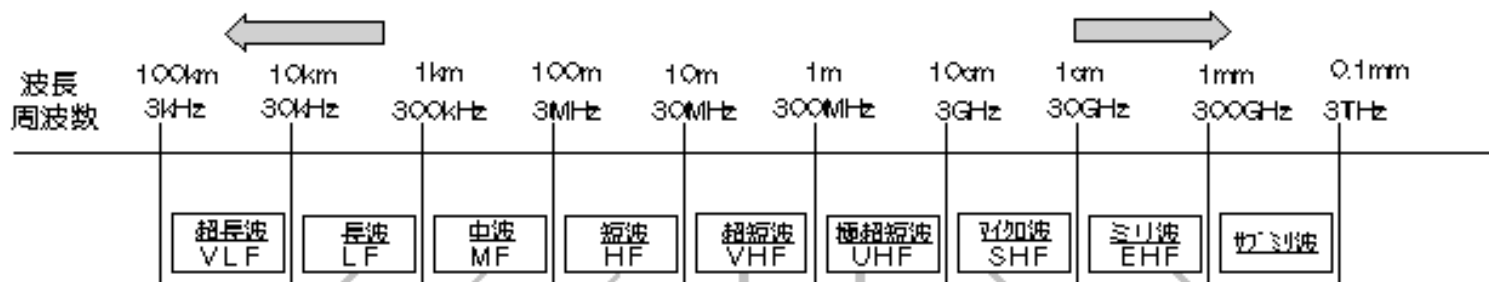
## 電波



電波の割り当て: **総務省** (次のスライド)

直進性が弱い  
情報伝送容量が小さい

直進性が強い  
情報伝送容量が大きい



**長波**  
船舶・航空機用ビーコン  
標準電波

**中波**  
船舶通信  
中波放送 (AMラジオ)  
船舶・航空機用ビーコン  
アマチュア無線

**短波**  
船舶・航空機通信  
国際短波放送  
アマチュア無線

**VHF**  
FM放送 (コミュニティ放送)  
TV放送  
防災行政無線  
消防無線  
列車無線  
警察無線  
簡易無線  
航空管制通信  
無線呼出  
アマチュア無線  
コードレス電話

**UHF**  
携帯電話  
PHS  
MCAシステム  
タクシー無線  
TV放送  
防災行政無線  
移動体衛星通信  
列車無線  
警察無線  
簡易無線  
レーダー  
アマチュア無線  
パーソナル無線  
無線LAN  
コードレス電話  
ISM機器

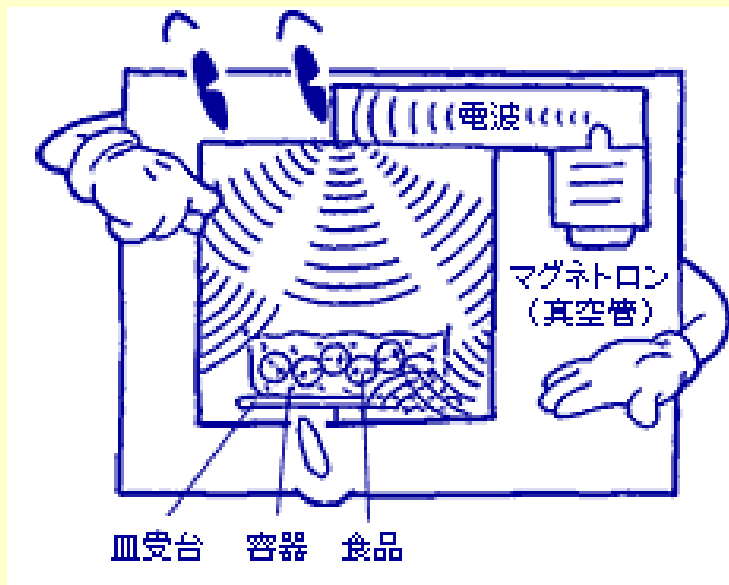
**ミリ波**  
電波天文  
衛星通信  
簡易無線  
加入者系無線アクセス  
レーダー

**マイクロ波**  
マイクロ波中継  
放送番組中継  
衛星通信  
衛星放送  
レーダー  
電波天文・宇宙研究  
無線LAN  
加入者系無線アクセス  
DSRC  
ISM機器

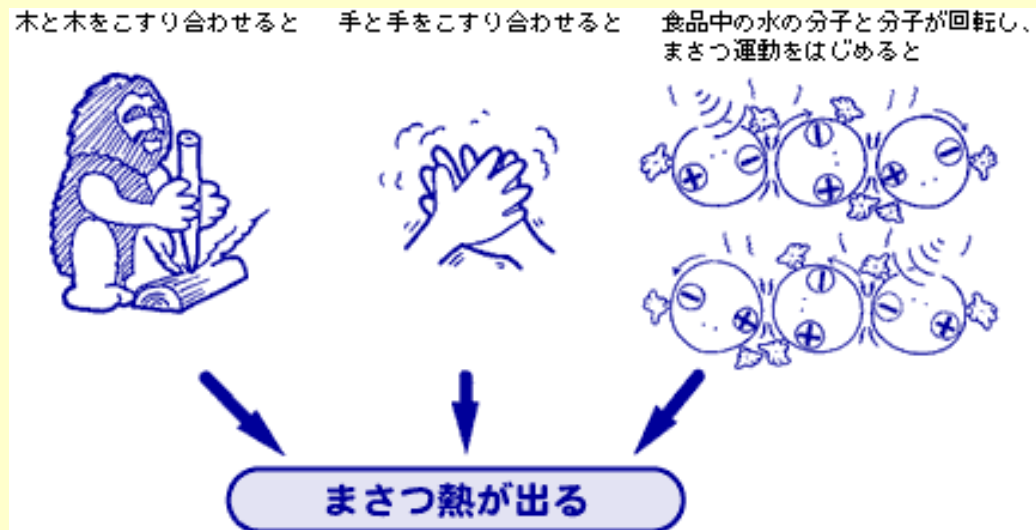
# 電子レンジ

- 電磁波はエネルギーを持ち、それを利用することができる
- 2.45GHz(波長12cm, マイクロ波)の電磁波を庫内に放射  
(英語: microwave oven)
- 水の分子を振動させ熱とする





## 動作原理





# 電子レンジ

どうして、プラ容器が熱くならないか

→ 水の分子を加熱

なぜ、アルミフویلがあると加熱されない

→ 電波を遮蔽するから

なぜ、ボディーが金属製で重い

→ 電磁波が外に漏れないようにするため

扉のガラスにメッシュの金属がついている

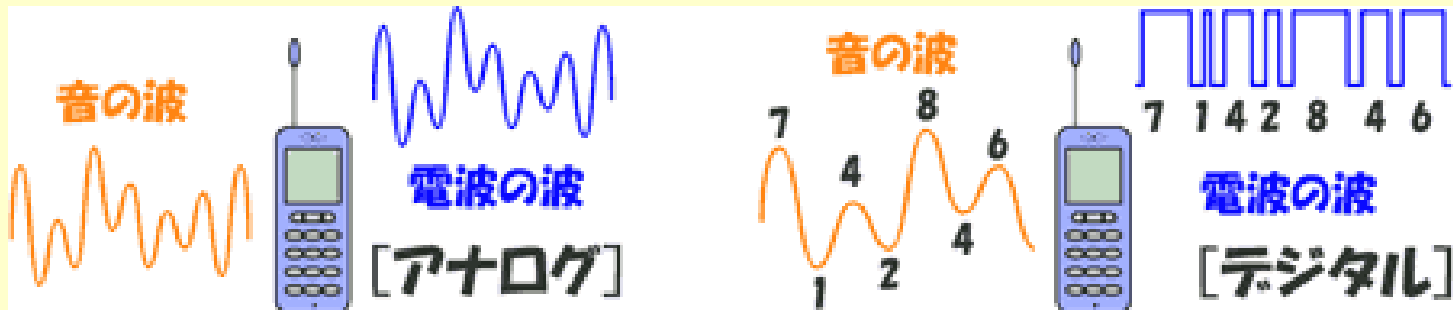
→ やはり電磁波が外に漏れないようにするため

# 携帯電話

- どうして、日本中(世界中)どこにいても、携帯電話は
- なぜ、シルバーシート付近では電源を切らないといかないの？ ナンバーモードじゃだめなの？
- OFFにして通話していても、朝になるとどうして電池が減っているの？

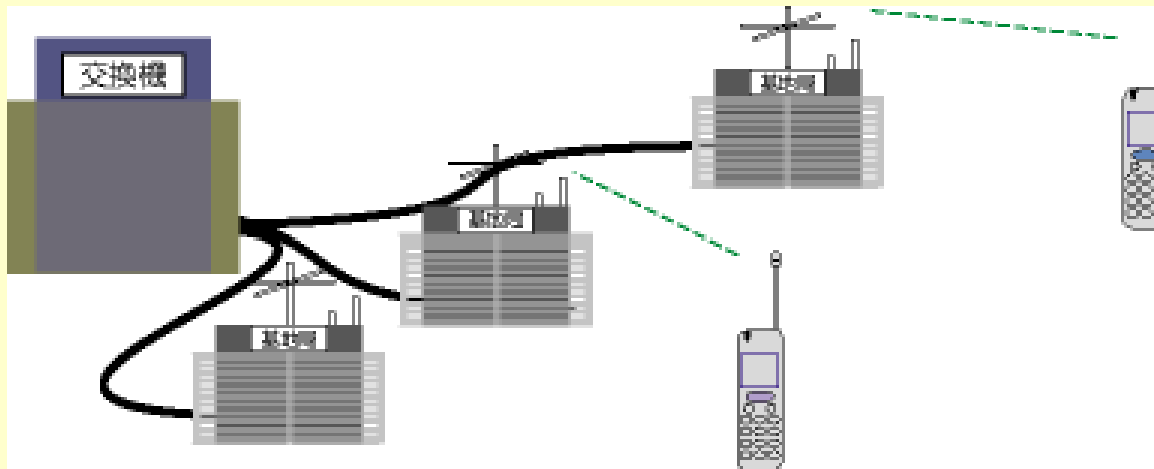
# 携帯電話：つながる仕組み

携帯電話では電波で通信を行うが、トランシーバーのように直接相手に届くのではない



# 携帯電話：つながる仕組み

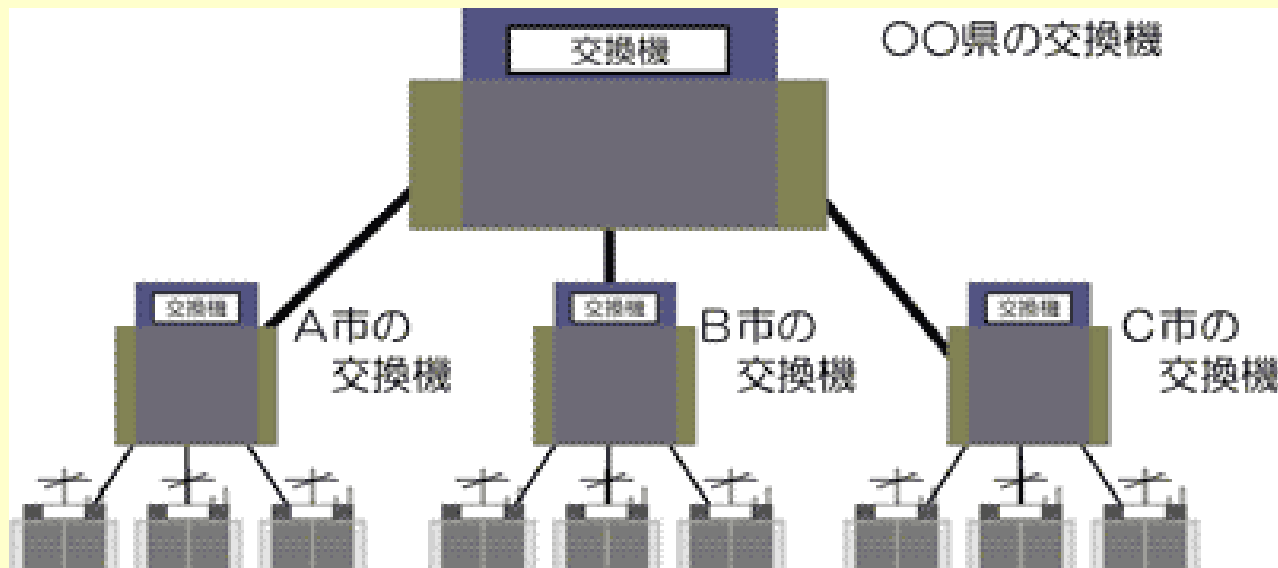
携帯の電波は数kmしか飛ばない  
相手と直接話すのではなく、近くの基地局が中継する



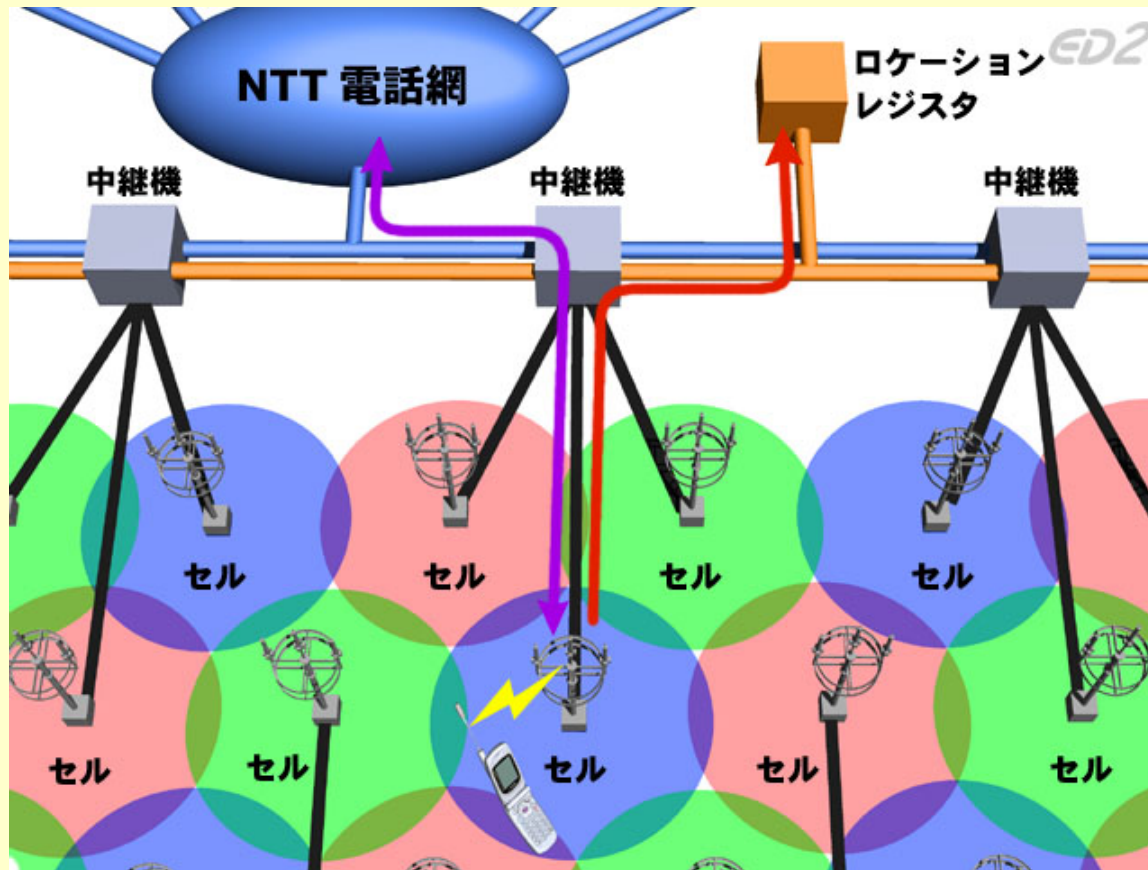
携帯電話は自ら電波を出し、自分の所在を基地局に知らせる

# 携帯電話：つながる仕組み

基地局同士は、階層化された交換機でネットワークを作っている



# 携帯電話：つながる仕組み



携帯電話は常時電波を出しており、それを捉えた基地局のうち一番強いものが、その携帯の「担当」となる。

持ち主が移動すると今使っている基地局の電波の届かない範囲に出ると、基地局を切り替える。リレーのようなものである。

# まとめのメッセージ

- 現代では科学技術の進歩により、快適な生活ができるが、単に利用するだけではなく、その原動力にも眠る心けしてもらいたい
- (悲劇) 濡れた猫を乾かそうとして電子レンジに入れた
- (悲劇) 携帯電話の電波で心臓障害の人を殺してしまった
- ハイテク時代の原始人にならないように！