
【問 8】 セル小型化による電波容量増大の可能性

- (a) 貴論では、「基地局セルの小型化による周波数帯の反復使用によって通信容量を増加させ、電波の逼迫を緩和することができる。長期的にはこれが唯一の方策である。」旨が記されています。小型化するにしても多数の基地局アンテナ建設には費用がかかると思いますが、小型化によって急増するスマホ・トラヒックを賄うことは可能でしょうか。
- (b) これに加えてトラヒックの「オフローディング」という手段もあると言われていますが、そうであれば基地局小型化が「唯一の方策」ではなくなりますが(?)。
-

【問 8 への回答】

(x) 「オフローディング」について (問 8 (b)) :

まず「オフローディング」とは、スマホを含む携帯電話アクセス用のトラヒックを無線 LAN (WiFi, WiMAX) に肩代わりさせることで、その分だけ携帯電話の負担が軽く (オフロード) なります。これは、無線 LAN 用の周波数帯を携帯電話用に追加配分することと同じであり、短期的には電波逼迫の対策になり得ても、長期的には (電波を無限に追加配分することはできないので) 限界があります。他方無線 LAN についても、基地局小型化による容量増大は可能です。

(y) 基地局セル小型化のための費用 (問 8 (a)) :

基地局セルを小型化 (アンテナからの電波の到達距離を短く) し、異なる基地局で同じ周波数帯を繰り返し使用することにより、与えられた地域で全ユーザが利用できるトラヒック総量を増大させることができます。もちろんそのためには、基地局・アンテナを小型とは言え多数建設しなければならず、そのために必要な建設費が問題になることは貴論のとおりです。

単純化したモデルを使って計算してみると、一定の技術水準と与えられた周波数帯域幅の下で、与えられた地域につき、基地局建設費合計 (C) と、地域内の全ユーザにサービス可能なトラヒック容量 (T) との間には次のような関係が成立することが分かります。

「建設費合計 (C) はトラヒック費用 (T) の φ 乗に比例する。ただし $0 < \varphi < 1$ で、 φ は基地局アンテナ建設費単価によって決まるパラメター。」

下図は T と C との関係を示すグラフです。

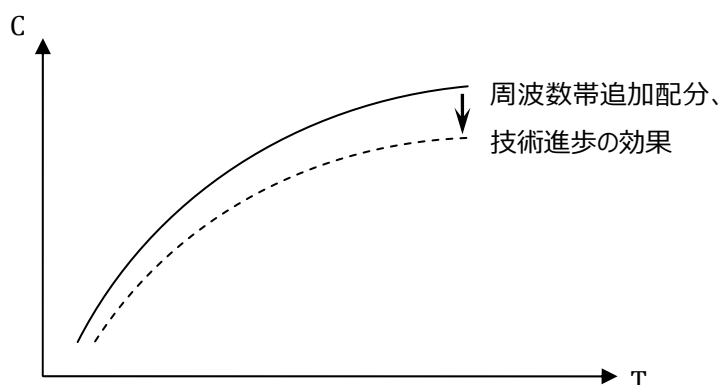


図 1： T と C の関係

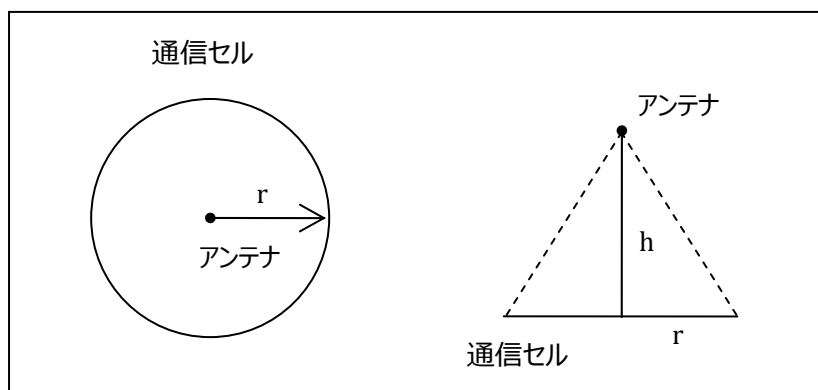
したがって、スマホ・トラヒックが時間について指数関数的に（たとえば年成長率 $k\%$ で）増大すれば、これを収容する小型基地局建設費もおおむね指数関数的に（年成長率 $\phi k\%$ で）増大し、ある時点で費用面からも建設継続が不可能になります。

以下は、この結論の説明です。

(z) 上記 (y) の説明 —— 基地局小型化によるトラヒック容量増大と小型基地局建設費について：

前提：

- (1) 各地域のユーザ数が一定
- (2) アンテナごとのトラヒック容量はセルの大きさにかかわらず一定（つまりセルの小型化とは、低パワー化による到達範囲の比例的縮小）。ただし容量は技術進歩や周波数配分によって増加する。
- (3) アンテナ建設費単価はアンテナ高の δ 乗 ($1 < \delta < 2$) に比例する（理由： $\delta \leq 1$ では無限に高いアンテナができてしまう。他方 $\delta \geq 2$ ではたとえば SkyTree 建設が不採算になる）。



記号定義：

r ： 基地局セル半径

h ： 同アンテナ高

(1) $h = \alpha \cdot r$, $\alpha > 0$. パラメター (以下同じ)

c ： アンテナ建設費

(2) $c = \beta \cdot h^\delta$, $\beta > 0, 1 < \delta < 2$.

n ： セルごとの収容ユーザ数

(3) $n = \epsilon r^2$, $\epsilon > 0$.

m ： セル数

N ： ユーザ数合計

(4) $N = m \cdot n$.

C ： アンテナ建設費合計

(5) $C = m \cdot c$.

f ： 通信技術水準・利用可能周波数幅を示すパラメター

g ： アンテナ当たりトラヒック容量

(6) $g = \sigma f$, $\sigma > 0$.

t ： ユーザ当たりサービス可能トラヒック

(7) $t = g/n$.

T ： 全ユーザにサービス可能トラヒック

(8) $T = t \cdot N$.

上記から、

$$\begin{aligned}
 (9) \quad m &= N/m, & (4) \text{ を使用 (以下同じ)。} \\
 &= (T/t)/(g/t), & (8), (7)。 \\
 &= T/g.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (10) \quad r &= (n/\epsilon)^{1/2}, & (3), \\
 &= (N/(m \cdot \epsilon))^{1/2}, & (4), \\
 &= (Ng/T\epsilon)^{1/2}, & (9)。
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (11) \quad c &= \beta \cdot (\alpha r)^\delta, & (2), (1), \\
 &= \beta \cdot \alpha^\delta \cdot ((Ng)/(T\epsilon))^{\delta/2}, & (10)。
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (12) \quad C &= m \cdot c, & (5), \\
 &= (T/g) \cdot \beta \cdot \alpha^\delta \cdot ((Ng)/(T\epsilon))^{\delta/2}, & (9), (11), \\
 &= (T/f)^\varphi \cdot N^{1-\varphi} \cdot \rho, & (6),
 \end{aligned}$$

ただし $\rho = \beta \cdot \alpha^\delta (\sigma/\epsilon)^{\delta/2} > 0$, $0 < \varphi = 1 - \delta/2 < 1$ はパラメター。

結論： 技術水準・利用可能周波数幅を示すパラメター (f) が与えられたとき、アンテナ建設費合計 (C) は、全ユーザにサービス可能トラフィック (T) の $\varphi = (1 - \sigma/2)$ ($0 < \varphi < 1$) 倍に比例して増大する。なお C は、技術進歩 (f) の増大によって低下する。

(u) セル小型化の例示 :

図 2 : セルサイズ半減の場合の例示

