

移動エネルギーからみた都市のプロポーション

01102840 筑波大学 腰塚武志 KOSHIZUKA Takeshi

1. はじめに

建設省が平成3年度から5年間の予定で「省資源・省エネルギー型国土建設技術の開発」という総合技術開発プロジェクトを発足させた。平成7年度はこのプロジェクトの最終取りまとめの年であり、筆者はこの中で「都市構造とエネルギー研究会」の主査をつとめてきた。ところで、都市構造とエネルギー消費の関係は、様々な局面で考えることができる。例えばヒートアイランドの問題では、夏には冷房で余分のエネルギーが必要だが、冬には暖房に要するエネルギーを節約でき、エネルギーを浪費しているか省エネルギーとなっているかは、速断できない。

以上のことから、我々の研究部会では大規模なモデルを構築して全体の省エネルギーを議論するのではなく、前提を単純にして厳密な結果をいくつも導出する。そしてこれを省エネルギーの定跡とし、これらの結果から現実を見ることにした。

上記研究会の成果については2年前、学会の機関誌に中間報告の型で特集を組んで頂いたが(文献[1])、その中で筆者の担当する部分がエネルギーの話まで至らなかったため、以下に文献[2]の拡張について編じておきたい。

2. 前提となる考え方

世の中で広く一般に受け入れられているのは「都市地域が低層のまま拡大すると、ただ無闇と通勤距離が長くなって能率が悪くなる。そこで都市を物理的にコンパクトにまとめた方が通勤距離も短くなるばかりでなく、通勤に要する時間も小さくなる」というようなことである。

しかしながら、筆者は通常用いられている水平方向の移動に比して垂直方向の移動の方が時間がかかるため、見た目はコンパクトでも移動時間からみたらコンパクトではないという事例があることを文献[3]で明らかにした。これは上述のような定跡の一つを考えており、結果だけ説明すると、面積 S の領域で高さが h の都市のあらゆる2点間の移動時間の平均値を問題としたとき、体積を一定すなわち Sh を一定として移動時間を最小にするこの都市のプロポーションは

$$\frac{h}{\sqrt{S}} = \frac{1}{3} \frac{v_2}{v_1} \quad (1)$$

と表わすことができる。ただしこの都市における水平方向の移動の速度を v_1 、垂直方向の移動の速度を v_2 としている。

3. 自動車の消費エネルギー

文献[2]での議論をエネルギーの問題に拡張すると、距離 l を平均速度 \bar{v} で走行したその消費エネルギー e に

関して

$$\frac{e}{l} \sim a \frac{1}{\bar{v}} + b \quad (2)$$

が得られる(文献[4])。ところである程度の長さの一般道路を走行した時のガソリン消費に関するデータが文献[5]で紹介されている。そこでこのデータに関してガソリン消費量の単位を l (リットル) にとり、縦軸に e/l (l/km) 横軸に $1/\bar{v}$ (時/ km) をとって28個のデータをプロットすると図1のようになり、 $R^2 = 0.95$ で式(2)はよく適合することがわかる。最小二乗法によって求められた係数は図中の数値のようになり、式(2)が図1の直線で表わされている。この式がよく適合するといふことは式(2)の両辺に l をかけ

$$e \sim a\bar{l} + bl \quad (3)$$

と、ガソリン消費量が所要時間と距離で説明できることを意味している。もし係数 b が0ならガソリン消費量は所要時間に比例することになり、所要時間最小がガソリン消費からみても良いことになる。しかし係数 b が0ではないので、所要時間最小が必ずしもガソリン消費最小に対応しない。

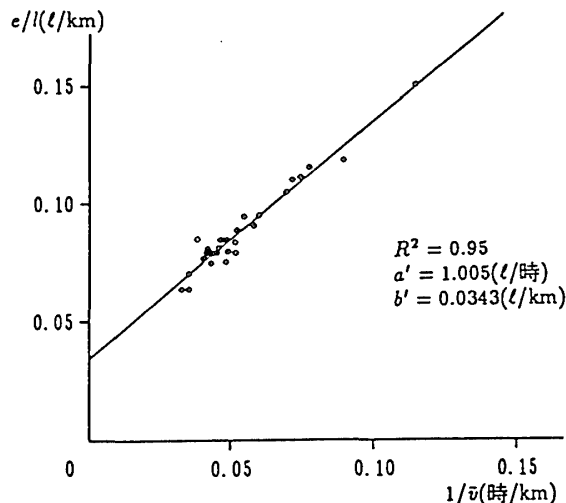


図1 ガソリン消費量と平均速度

4. 水平方向と垂直方向のエネルギー消費

さて前章で自動車の水平方向の移動に関するエネルギー消費については、ある程度見当がついた。次に垂直方向のエレベーターについてはどうだろうか。これに関しては文献[6]に載ってはいる。しかしここに述べられているのは一定の速度での定常走行のエネルギー消費であって、乗せる人数や止まる回数さらには走行

距離を変数にとってエネルギー消費を測定したものではない。そこでこの点についてはもう少し文献を探すものとして、前節の式(2)が垂直方向でも成立するものと仮定しよう。もっとも1台に乗る人数や1停止あたりエネルギー消費量さらには距離あたりのエネルギー消費量も水平方向と垂直方向では異なるだろう。

そこでまず式(3)を水平方向の移動に適用し、添え字1で水平方向を表わすものとして

$$e_1 \sim \left(\frac{a_1}{v_1} + b_1\right)l_1, \quad (3)$$

ただし所要時間を $\bar{t} = l/\bar{v}$ と置いている。次に垂直方向も同様に書けるものとし、垂直方向を添え字2で表示するものとするれば

$$e_2 \sim \left(\frac{a_2}{v_2} + b_2\right)l_2, \quad (4)$$

となる。

ここで図2のように現実の都市地域を単純化し、都市域の面積を S とし建物の高さが h だとしよう。このとき任意の建物のある高さ(階)から別な建物のある高さ(階)までの移動に要するエネルギーの平均値 E が

$$E = c_1\sqrt{S} + c_2h \quad (5)$$

と表わすことができたとする。ただし c_1 は地上(もっと正確にいうなら水平方向)を移動する交通網や交通機関に依存する係数であり、 c_2 は垂直方向の移動システムに依存する係数である。都市のボリュームを簡単に一定すなわち

$$Sh = \text{一定}$$

として式(5)を最小にすることを考えると、このとき

$$\frac{h}{\sqrt{S}} = \frac{1}{2} \frac{c_1}{c_2} \quad (6)$$

が得られる。ここで都市の領域が正方形だとし、これにグリッド状に交通網があって移動の出発点と目的地が都市の中で一様なら、水平方向の移動距離の平均値は $2/3\sqrt{S}$ となる。現実には領域が正方形の都市は存在しないが、不定形でもこの距離に関しては正方形近似がよく合うことが分かっている。一方垂直方向での出発点と目的点がそれぞれの高さ h の建物の中で一様で、水平方向の移動には一旦地上に降りなければならない場合には、地上までの移動距離の平均値は双方とも $h/2$ となるのでこれらを足すと h となる。

そこで式(3),(4),(5)より

$$c_1 = \frac{2}{3}\left(\frac{a_1}{v_1} + b_1\right), \quad c_2 = \frac{a_2}{v_2} + b_2$$

となるので、これを式(6)にいれると

$$\frac{h}{\sqrt{S}} = \frac{1}{3}\left(\frac{a_1}{v_1} + b_1\right) / \left(\frac{a_2}{v_2} + b_2\right) \quad (7)$$

が得られる。

式(3)は3.の自動車のガソリン消費から導出されたものであった。もし水平方向の移動のエネルギーが、すべての移動について式(3)のように表わされ、しかも垂直方向についても同様に式(4)のように表わされれば、

式(7)は移動エネルギーを最小にする都市のプロポーシオンを表わしている。実際には様々な種類の移動手段があるので、式(7)のように単純には表現できない。しかし、水平方向と垂直方向の手段の組合せを一つに特定すれば、式(7)のようにこの組合せに関しては移動エネルギーを最小にするプロポーシオンが存在することがわかった。

なお式(7)において $b_1 = b_2 = 0$, $a_1 = a_2$ ならば右辺は $v_2/3v_1$ となり、所要時間からみたプロポーシオン(1)と一致する。

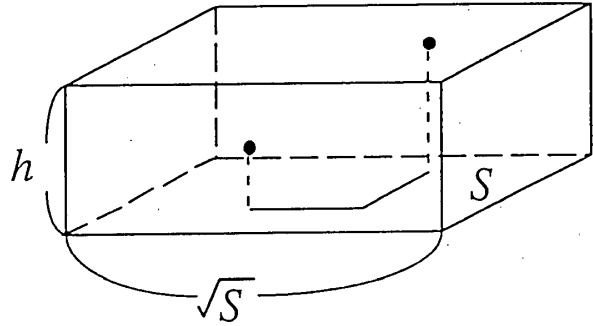


図2 単純化した都市のモデル

5. おわりに

都市における移動エネルギーを算出しようとするといろいろな立場から出された様々な原単位が存在し、それを基礎に算出したらよいか途方にくれる。

自動車の燃費のみに限っても様々な論文や多くの説が存在する。しかしごく平均的な我々が通常運転するときの燃費を、大まかにしかし本質的部分をはずさないで推定しようとする、ことは簡単ではない。

今回はかなり以前に公表されていてしかも現在も参考文献としてよく挙げられている文献[5]のデータのみをもとに議論を組み立ててみた。もとより不備な点が多々あることは承知しているが、水平垂直の移動手段の組合せに応じて移動エネルギーを最小とするプロポーシオンが存在するという定跡が一つ得られたことが収穫だと考えている。

参考文献

- [1] 腰塚武志, 他(1994): 特集, 都市の省エネルギーをめぐる。オペレーションズ・リサーチ, Vol.39, No.5, pp.236-260.
- [2] 腰塚武志(1994): 道路の密度と所要時間。オペレーションズ・リサーチ, Vol.39, No.5, pp.237-242.
- [3] 腰塚武志(1995): コンパクトな都市のプロポーシオン。日本都市計画学会学術研究論文集 30号, pp.499-504.
- [4] 腰塚武志(1994): 走行時間や走行エネルギーを最小にする道路密度。日本都市計画学会学術研究論文集 29号, pp.319-324.
- [5] 佐野雅英(1979): 自動車の実走行燃費—主として福岡・北九州を対象として—。交通工学, Vol.14, No.2, pp.11-12.
- [6] 渡辺英紀, 木本正志(1992): エレベーター制御技術の変遷とエネルギー消費。建築設備, 6月号, pp.34-38.