

垂直方向の移動を考慮したエネルギー消費量と都市形態の関係

九州大学工学部	学生会員	吉武	宏晃
九州大学大学院 工学研究院	正会員	塚原	健一
九州大学大学院 工学研究院	正会員	角	知憲

1. はじめに

今日、高密度な都市形態が提案される一方、自然及び田園との調和を目指した低密度な都市形態も提案されている。このように、様々な都市形態が提案、研究されているが、今後は持続可能の観点から都市形態を議論していくことが重要である。よって、本研究では、エネルギー消費量と都市形態の関係性を定量的に検討することを目的とした。

本研究では、水平方向及び垂直方向の移動に着目し、居住地域の広がり・高さや交通分担率の変化におけるエネルギー消費量の変化を比較することで、都市形態とエネルギー消費の関係性について論じる。

2. 内容

2-1. 都市モデル

本研究では、図-1のように、中心にCBD(面積を持たない点とする)を持つ都市半径Rの円形都市を仮定する。この場合、一定の人口を居住させるために、都市半径Rと都市の住宅の高さの間には次式(1)のような関係を仮定する。

$$H = \frac{S_1 h_1 \alpha}{\beta_2 (\pi R^2 - S_0)} \quad (1)$$

h_1 は階高、 S_1 は1人当たりの居住面積、 α は人口、 β_2 は都市内の住宅面積割合、 H は都市内住宅の高さ、 S_0 は都市内における最低必要空地面積である。

2-2. エネルギー消費量の計算

本研究では、都市の半径及び高さが変化した場合エネルギー消費量が大きく変化するものについて検討をおこなう。そこで、垂直方向移動におけるエネルギー消費量を評価する際、エレベーターの移動と上水の汲み上げによるエネルギー消費を考慮する。それに対し、水平方向の移動に関するエネルギー消費を検討する際、乗用車および鉄道におけるエネルギー消費を考慮する。

(a) 上水に関しては、エネルギー損失を考慮して、汲み上げに必要とするエネルギー消費量 Q_w を計算する。

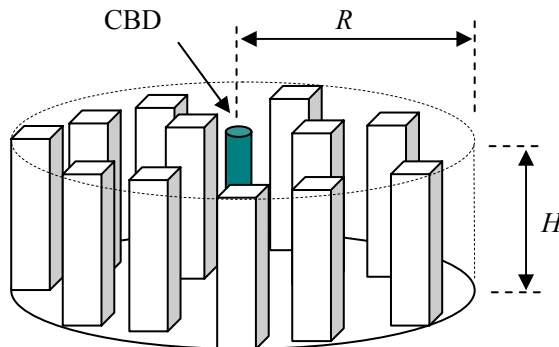


図-1 都市の概念図

(b) エレベーターに関しては、移動に必要な推進力 F_e は次式(2)のような運動方程式により計算する。

$$(M_e + M_c)\ddot{y} = F + M_c g - M_e g \quad (2)$$

M_c はカウンターウェイトの質量、 M_e はかごと乗客の質量、 $\ddot{y}$ は加速度、 g は重力加速度である。また、エレベーターは一回当たりの乗車人数や移動距離が変化する特徴を持つので、1回当たりの利用人数は確率的に、移動距離は期待值的に評価し、推進力と移動距離の積として、エレベーターにおけるエネルギーの消費量 Q_e を計算する。

(c) 鉄道に関しては、鉄道の速度、駅間距離、乗車率の変化を仮定し、走行抵抗 T の関係式(3)と運動方程式(4)より推進力 F_r を求め、推進力と移動距離の積により、鉄道におけるエネルギー消費量 Q_r を計算する。

$$T = (a + bV_r)M_r g + cV_r^2 \quad (3)$$

$$M_r \ddot{x} = F_r - T \quad (4)$$

a, b, c は車両固有の定数、 V_e は速度、 M_r は車両と乗客の質量、 $\ddot{x}$ は加速度である。

(d) 自動車に関しては、通勤交通に着目し、都市中心のCBDに集中するものと仮定した。自動車の燃費は速度に大きく関係するので、関係式(5)より燃料消費率 W_c を計算する。またBPR関数式(6)を利用し速度を求めた。

$$W_c = \frac{27366.9}{V_c} - 29.7V_c + 0.2541V_c^2 + 2115.3 \quad (5)$$

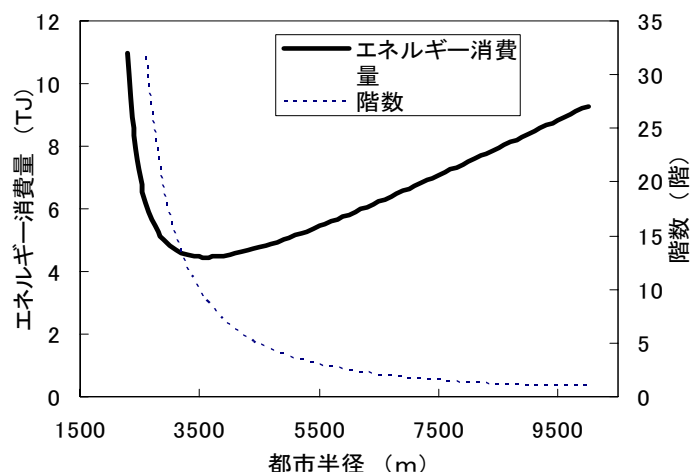


図-2 都市半径とエネルギー消費の関係

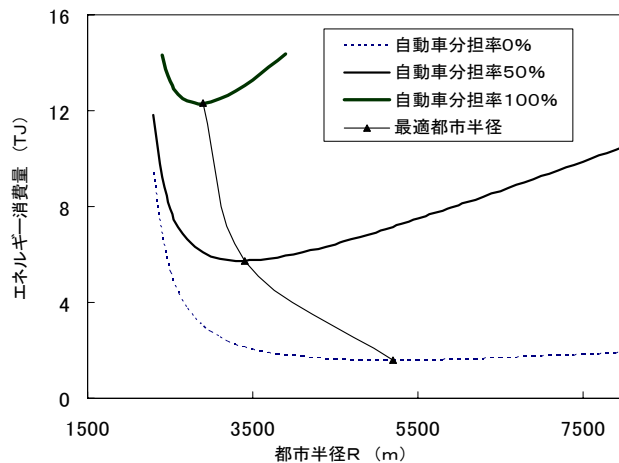


図-3 自動車分担率ごとの都市半径と

エネルギー消費の関係

$$t = t_0 \left\{ 1 + \left(\frac{C}{C_0} \right)^2 \right\} \quad (6)$$

V_c は平均速度, t は所要時間 (min/km), t_0 は自由走行時間, C は交通量, C_0 は可能交通容量である. 都市における自動車のエネルギー消費量 Q_c は式(7)となる.

$$Q_c = \int_0^R \alpha_r(r_1) \cdot \int_0^R W_c(r) dr \cdot dr_1 \quad (7)$$

$\alpha_r(r)$ は r における自動車交通発生量の分布関数, r はある地点の都市中心からの距離である.

都市におけるエネルギー消費量は Q_w , Q_e , Q_r , Q_c の和とする.

3. 結果および考察

シミュレーション結果を以下にまとめる.

(a) 試算の結果, 人口200万人, 自動車分担率が35.5%, 鉄道の分担率が64.5%の場合, 都市半径 R とエネルギー消費量の関係は図-2のようになった. これより, エネルギー消費量が最小になる都市半径(最適都市半径)は3.5km程度である. この結果は, 想像以上に集約した高密度高層化した都市である. (住宅の高さは約9階, 人口密度は約5.0万人/km²)

(b) 図-3及び表-1から, エネルギー消費量を削減するためには, 鉄道の分担率を増加させることが重要であることが分かる. また, 都市における交通分担率ごとに, 最適な都市半径が大きく異なっている. つまり, 自動車に依存した都市では, きわめて高密度高層化した都市形態が適している.それほど, 自動車におけるエネルギー消費量が大きな影響を与えていると

表-1 図-3の詳細

自動車分担率 (%)	0	50	100
最適都市半径 (m)	5200	3400	2900
人口密度 (万人/km ²)	2.35	5.51	7.57
住宅の階数 (階)	3.4	10.7	19.0

いうことである. それに対して, 鉄道の分担率が高いほど, ある程度低層な都市形態が適しており, 最も省エネルギーな都市形態といえる.

(c) 都市人口が増加するほど1人当たりのエネルギー消費量が増加する結果が得られた. ただ, 都市は集積することに利点があり, 単に小規模にすればよい訳ではない.

(d) 都市内のオープンスペースの面積が増加するほど都市のエネルギー消費量が増加する結果が得られた. ただ, オープンスペースは多種多様な機能を有しているので単純に削減できない.

結論としては, マストランジットが発展した鉄道の分担率の高い都市では, ある程度低密度低層化した都市が適している. それに対し, マストランジットの発達していない, 自動車依存の高い都市では, 高密度高層化した都市が適しているといえる. しかし, 後者の都市形態はオープンスペースの確保や生活環境悪化などの多くの問題が生じてしまうため, 現実性は低い都市形態である.

以上のことをふまえると, 今日叫ばれているように, 自動車の利用を抑え, 鉄道へのモーダルシフトを促進していくことが重要であるといえる.