

# 環境に配慮した瀬戸キャンパスへの通学方法の研究

2002MM111 服部有里 2003MM108 田岡洋子

指導教員: 鈴木敦夫

## 1 はじめに

### 1.1 背景

現在, 我々の日常生活において, 物や人の移動に欠かせない交通機関は重要な役割を持っている. しかし自動車の排気ガスや騒音・振動の問題など, 交通機関による環境への影響は大きい. 環境省による13年度版環境白書[4]の輸送機関別二酸化炭素排出量を見ると, 自家用貨物車・営業用貨物車・タクシー・バスも含めた自動車交通では, 運輸部門におけるCO<sub>2</sub>排出量の約9割を占めている. 自動車業界では, それらの問題を解決するため電気自動車やハイブリッド自動車など, 二酸化炭素排出抑制や窒素酸化物低減などを旨とした自動車の開発が進んでいる. [9] 社会全体でもチームマイナス6%など, 環境問題について様々な取り組みがされている. そこで我々にとって身近な通学方法に注目し, 数学的手法を用いて環境問題についてアプローチする.

### 1.2 方針

環境問題へアプローチするために, 交通手段別の走行時のエネルギー消費量を用いる. 総エネルギー消費量だけでなく, 総運賃・総所要時間それぞれの最小化問題を解き, 地域ごとの交通手段の特性を比較する. また, それぞれの最小化問題に, 制約として乗換回数や電車・スクールバスの容量を加え, それに伴い総エネルギー消費量・総運賃・総所要時間はどうかを考察する. そして, 学生にエネルギー消費量・運賃・時間を考慮した通学方法を提案する.

エネルギー消費量(kcal)を得るために必要なデータは以下の3つである.

1. 学生の現住所の位置・人数(人)
2. 学生の現住所から瀬戸キャンパスまでの通学手段ごとの通学距離(km)
3. 通学手段ごとのエネルギー原単位(kcal/人・km)

### 1.3 瀬戸キャンパスの通学環境

南山大学瀬戸キャンパス(以下, NSC)の最寄駅は愛知環状線山口駅で, 駅からNSCまで徒歩15分かかる. また, 本郷・平針からスクールバスが出ている. NSC内には, 418台分の駐車場があり, 校内で行われる講習を受けて申請すれば, 誰でも自動車で通学することができる. (2km以内に住む学生は対象外)

本研究で取り上げる通学方法は以下に示す. 但し, 愛知高速交通東部丘陵線は以下リニモとする.

- 自動車のみ使用して通学
- 名古屋市営地下鉄東山線本郷駅を使用して, その後スクールバスで通学
- 名古屋市営地下鉄鶴舞線平針駅を使用して, その後スクールバスで通学
- リニモ愛地球博記念公園駅を使用して, その後スクールバスを使用して通学
- リニモ八草経由山口駅を使用して通学
- リニモを使用せず山口駅を使用して通学

愛地球博記念公園駅へは必ずリニモを使用する. また, 山口駅へはリニモを使用する場合としない場合がある. 今後リニモを使用する場合は「リニモ八草経由山口駅」とし, リニモを使用しない場合は「山口駅」と表示することとする.

## 2 使用するデータについて

### 2.1 エネルギー原単位

交通手段別のエネルギー消費量は手段別のエネルギー原単位(kcal/人・km)からもとめる. エネルギー原単位とは, 単位当たりに必要な電力・熱などエネルギー消費量の総量である. 本研究で対象とする自動車・電車・スクールバスそれぞれのエネルギー原単位は, エネルギー要覧[6]から得る. リニモのエネルギー原単位は, リニモに関する研究[3]から得る. その値は表1に示す.

表 1: 交通手段ごとの輸送エネルギー原単位

交通手段	輸送エネルギー(kcal/人・km)
自家用乗用車	583
旅客鉄道	50
バス	160
リニモ(10人)	377
リニモ(80人)	56

注1: エネルギー要覧での表示では, 「自家用乗用車」「旅客鉄道」「バス」となっているが, それらを本研究では「自動車」「電車」「スクールバス」の値とする.

注2: リニモ(10人)は万博開催後の平成17年10月から平成18年3月までの実際の乗車人数から求めたエネルギー原単位を用いる.

注3: リニモ(80人)はリニモ1両定員の80人乗車した場合のエネルギー原単位を用いる.

### 2.2 学生現住所データ

学生の現住所のデータを処理する. 与えられた学生の現住所のデータは住所のみで, そのままでは通学距離や最寄駅をプログラムによって求めることはできない. そ

のため学生の現住所と数値データを連結させる必要がある。本研究では街区レベル位置参照情報（以下、街区データ）を学生の現住所に連結させることで、学生の現住所のデータをプログラムに使用できるデータにする。ここで街区レベル位置参照情報とは、「全国の都市計画区域を対象に、街区単位（「 町 丁目 」）の位置座標（代表点の緯度・経度、平面直角座標）を整備したデータ」[5]である。

初めに、現在NSCに通っている学生の現住所を市・郡（名古屋市は区）ごとにまとめる。そして、街区データから求めた市・郡（名古屋市は区）の中心の緯度・経度と連結させ、学生はそれらの点から通学しているものとする。以下、この点を代表点とする。これらのデータにより、代表点からNSCまでの通学に伴う距離・運賃・時間をそれぞれ求める。

## 2.3 通学距離・運賃・時間・乗換回数・容量の求め方

### 2.3.1 自動車の場合

自動車での通学距離は、代表点からNSCまでの直線距離を、プログラムを作成し求め、その1.14倍[7]した値を使用する。運賃は、レギュラーガソリン代130円/Lと平均燃費10Km/Lから1Kmあたりの費用13円/Kmを求め、これに上で求めた通学距離を掛けることで運賃とする。所要時間は、自動車の走行時速を30Kmとして、これに13円/Kmを掛けることで所要時間とする。乗換回数は0回とする。駐車場スペース数を自動車の容量とする。

### 2.3.2 電車の場合

プログラムによって代表点の経緯から最寄駅を求め、求められた最寄駅から本郷駅、平針駅、愛地球博記念公園駅、リニモ八草経由山口駅、山口駅、までの通学距離・運賃・所要時間・乗換回数を地図ソフト [1]を用いて求める。通学に必要な駅の緯度・経度はgoogle Earth[2]より得る。

また通学定期券を使用した場合、普通運賃の平均0.2倍の値段が一回の通学片道運賃となる[8]ことから、求めた運賃を0.2倍した値を通学運賃とする。

本郷駅・平針駅・愛地球博記念公園駅の容量はスクールバスの定員から求める。山口駅の容量は電車の定員から求める。

## 3 現状分析

NSCに通学している学生の、通学に伴う現在の総エネルギー消費量・総通学運賃・総所要時間を調べる。しかし自動車を使用している学生の現住所データのみ得られているため、全学生の詳細な通学方法を把握することが出来ない。その為、全学生の代表点と自動車に通学している学生の代表点から現状を調べる。

代表点ごとの最寄駅と、代表点からNSCまでの自動車距離、代表点から本郷駅・平針駅・山口駅までの電車距離を求める。自動車に通学していない学生をすべて電車で通学している学生とし、リニモを使用して通学している学生はいないものとする。電車で通学している学生は必ず本郷駅・平針駅・山口駅いずれかを使用して通学する。

電車で通学している学生についてはWhat't Bestを用いて総エネルギー消費量最小化問題、総通学運賃最小化問題、総通学時間最小化問題として解き、各問題ごとにエネルギー消費量・運賃・時間を求める。これらの値に自動車に通学している学生の、代表点からNSCまでのエネルギー消費量・運賃・時間を加えたものを現状の総エネルギー消費量・総通学運賃・総通学時間とする。

しかし、学生の多くは通学手段を選択する基準として、通学に伴う運賃と時間を考慮していると考えられる。そのため、総通学運賃最小化問題と総通学時間最小化問題の結果のエネルギー消費量・運賃・時間を平均した値を現状の総エネルギー・総運賃・総所要時間とする。その結果を表2に示す。

表 2: 現状の結果

	エネルギー消費量(kcal)	運賃(円)	時間(分)
総計	14,481,534	358,054	176,823
一人当り	6,526	161	80

## 4 瀬戸キャンパスでの最適化モデルと結果

### 4.1 添字, 定数, 変数の定義

#### 4.1.1 添字, 定数の定義

- $i$ : 学生の現住所の代表点
- $I$ : 代表点の集合 ( $i \in I$ )
- $t$ : 通学手段の種類

$t = 0$  自動車を使用

$t = 1$  本郷駅を使用

$t = 2$  平針駅を使用

$t = 3$  愛地球博記念公園駅を使用

$t = 4$  リニモ八草経由山口駅を使用

$t = 5$  山口駅を使用

- $N_i$ :  $i$ に所属する学生数(人)
- $V_i$ :  $i$ からNSCまでの自動車距離(km)
- $T_{it}$ :  $i$ の最寄駅から $t$ までの電車距離(km) ( $t = 1, 2, 3, 4, 5$ )
- $B_t$ : スクールバスを用いた場合の $t$ からNSCまでのバス距離(km) ( $t = 1, 2, 3$ )
  - $B_1$  本郷駅からNSCまでのバス距離(km)
  - $B_2$  平針駅からNSCまでのバス距離(km)
  - $B_3$  愛地球博記念公園駅からNSCまでのバス距離
- $L_{it}$ :  $i$ がリニモを使用した場合の $t$ までのリニモ距離(km) ( $t = 3, 4$ )
- $C_{it}$ :  $i$ から $t$ を使用した場合のNSCまでの運賃
- $J_{it}$ :  $i$ から $t$ を使用した場合のNSCまでの所要時間
- $P_{it}$ :  $i$ から $t$ を使用した場合のNSCまでの乗換回数
- $\alpha$ : 通学運賃 $C_{it}$ の重み

- $\beta$ : 通学時間 $J_{it}$ の重み
- $\gamma$ : 0から1までの乱数
- $A_0$ : 自動車の駐車スペースの容量
- $A_1$ : 本郷駅から瀬戸キャンパスへのスクールバスの容量
- $A_2$ : 平針駅から瀬戸キャンパスへのスクールバスの容量
- $A_3$ : 山口駅の到着電車の容量
- $E_1$ : 自動車のエネルギー原単位(kcal/人・km)
- $E_2$ : 電車のエネルギー原単位(kcal/人・km)
- $E_3$ : スクールバスのエネルギー原単位(kcal/人・km)
- $E_4$ : リニモ(10人)のエネルギー原単位(kcal/人・km)

#### 4.1.2 定数の説明

本郷駅・平針駅からNSCまでのスクールバスのバス距離 $B_t$ は、提供されたデータを用いる。

$$B_1 = 13$$

$$B_2 = 16.3$$

$$B_3 = 5.3$$

自動車・電車・スクールバス・リニモ(10人)のエネルギー原単位( $E_1$   $E_2$   $E_3$   $E_4$ )は、表1を用いる。スクールバスのエネルギー原単位に関しては、学生を学校まで運ぶために本郷駅又は平針駅まで空の状態で行くことを考慮し、2倍の値を用いる。

$$E_1 = 583$$

$$E_2 = 50$$

$$E_3 = 320$$

$$E_4 = 377$$

#### 4.1.3 変数の定義

使用する交通手段の選択を0-1変数で置き、以下と定義する。

$$X_{it} = \begin{cases} 1 & i \text{ に住む学生が } t \text{ を使い通学している} \\ 0 & i \text{ に住む学生が } t \text{ を使い通学していない} \end{cases}$$

#### 4.2 総エネルギー消費量最小化問題の定式化

4.1節で定義した変数、定数を使って定式化する。

目的関数では全学生の通学に伴うエネルギー消費量の総和を最小にする。(1)式

制約式は次の2点が挙げられる。

- 自動車・本郷駅・平針駅・愛地球博記念公園駅・リニモ八草経由山口駅・山口駅から1つのみ選択して通学する。(2)式
- $X_{it}$ は0-1変数である。(3)式

$$\sum_{i \in I} N_i (E_1 V_i X_{i0} + E_2 \sum_{t=1}^5 T_{it} X_{it} + E_3 \sum_{t=1}^3 B_t X_{it} + E_4 \sum_{t=3}^4 L_t X_{it}) \longrightarrow \min \quad (1)$$

s.t

$$\sum_{t=0}^5 X_{it} = 1 \quad (i \in I) \quad (2)$$

$$X_{it} \in \{0, 1\} \quad (i \in I, t = 0, 1, 2, 3, 4, 5) \quad (3)$$

乗換回数は(4)式、容量制約は(5)式・(6)式・(7)式・(8)式に示す。

$$\sum_{t=0}^5 P_{it} X_{it} \leq 3 \quad (i \in I) \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} N_i X_{i0} \leq A_0 \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} N_i X_{i1} + \sum_{i \in I} N_i X_{i3} \leq A_1 \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I} N_i X_{i2} \leq A_2 \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I} N_i X_{i4} + \sum_{i \in I} N_i X_{i5} \leq A_3 \quad (8)$$

表 3: エネルギー最小定式化まとめ

モデル	制約条件	(1)(2)式 乗換制約	(1)(2)式 容量	(1)(2)式 乗換・容量
エネ最小	定式化1	定式化2	定式化3	定式化4

以上の目的関数では、リニモのエネルギー原単位は、リニモ(10人)の値 $E_4$ を使用している。この値をリニモ(80人)の値に変更した最適化問題も解く。この時の制約は(2)式・(3)式のみの場合と、(2)式・(3)式に乗換回数制約(4)式を加えた場合の最適化問題を解く。

#### 4.3 総通学運賃最小化問題と総通学時間最小化問題の定式化

4.1節で定義した変数、定数を使って定式化する。総通学運賃最小化問題と総通学時間最小化問題は同じ目的関数で表すことができる。

目的関数では、全学生の通学に伴う運賃と時間の和を最小にする。その時、通学手段ごとの運賃と時間にそれぞれ、重み $\alpha$ 、 $\beta$ を掛ける。 $\alpha + \beta = 1$ とする。そして $\beta$ を限りなく0に近い値の時、総通学運賃最小化問題となり、 $\alpha$ を限りなく0に近い値の時、総通学時間最小化問題となる。制約式は(2)式・(3)式である。

$$\sum_{i \in I} N_i \left( \sum_{t=0}^5 \alpha C_{it} X_{it} + \sum_{t=0}^5 \beta J_{it} X_{it} \right) \longrightarrow \min \quad (9)$$

これに4.2節と同様に以下の3通りの制約を追加した問題も解く。

結果は表5に示す。

表 4: 運賃・時間最小 定式化まとめ

モデル	制約条件	(1)(2)式	(1)(2)式 乗換	(1)(2)式 容量	(1)(2)式 乗換・容量
運賃最小		定式化 5	定式化 6	定式化 7	定式化 8
時間最小		定式化 9	x	定式化 10	定式化 11

表 5: 瀬戸キャンパスの場合の結果

		総エネルギー ( $10^3$ kcal)	総運賃 (円)	総時間 (分)
エネ最小	定式化 1	4,110	425,284	236,887
運賃最小	定式化 5	10,111	242,042	176,707
	定式化 6	11,589	277,902	172,659
	定式化 7	9,872	327,770	197,117
	定式化 8	9,761	351,368	189,775
時間最小	定式化 9	32,771	732,187	113,330

## 5 名古屋キャンパスでの最適化モデルと結果

NSCに通学している学生が名古屋キャンパス(以下、NNC)へ通学した場合の最適化モデルを考える。NNCへの通学方法は以下の3つを考える。但し、NNCでは自動車通学を許可されていない。

- 名古屋市営地下鉄いりなか駅まで公共交通機関を使用して、その後徒歩(16分)で通学
- 名古屋市営地下鉄名古屋大学前駅まで公共交通機関を使用して、その後徒歩(11分)で通学
- 名古屋市営地下鉄八事日赤駅まで公共交通機関を使用して、その後徒歩(5分)で通学

通学時間はいりなか駅・名古屋大学前駅・八事日赤駅からNNCまでの徒歩時間を加える必要がある。電車時間にそれぞれの徒歩時間を加えた値を通学時間とする。

NSCの場合と同様に、総エネルギー消費量最小化問題、総通学運賃最小化問題、総通学時間最小化問題を解き、各問題ごとに総エネルギー消費量・総運賃・総時間を求める。その結果は、表6に示す。

表 6: 名古屋キャンパスの場合の結果

		エネルギー (kcal)	運賃 (円)	時間 (分)
エネ最小	総計	2,415,957	249,686	141,706
	一人当り	1,089	113	64
運賃最小	総計	2,480,643	247,894	144,570
	一人当り	1,118	112	65
時間最小	総計	2,521,227	249,628	135,463
	一人当り	1,136	113	61

## 6 考察

制約なしの総エネルギー最小化問題では、すべての代表点に住む学生が山口駅を使用するという結果になった。しかし、この場合の通学運賃・通学時間は現状より大きな値となり、多くの方はコストや時間をかけて環境に配慮することはできないため、この結果は現実的な結果ではない。

総通学運賃最小化問題では、どの制約を加えても、現状より総エネルギー消費量を減らすという結果となった。総通学時間最小化問題では、88地区のうち84地区が自動車を使用し通学するという結果になった。しかし、この場合の総エネルギー消費量は現状の2.5倍で、一人当たりの通学運賃も2倍になる。残りの4地区(不破郡・津市・松坂市・伊勢市)は本郷駅を使用するという結果になったが、これらの地区はどの定式化でも電車をしようすることが最適であるという結果になった。

名古屋キャンパスでの定式化の結果から、公共の交通手段が多く整っている市街地ではエネルギー消費量が大幅に削減されることがわかる。また、名古屋キャンパスでの総エネルギー・総通学運賃・総通学時間の定式化の結果を比べると、総エネルギー・総通学運賃・総通学時間の値に変化が少ない。したがって、学生は通学運賃や通学時間だけを最適化しても、環境負荷は大きくならないということである。

## 7 おわりに

本研究では、環境への配慮の指標として、交通手段ごとの走行時のエネルギー消費量だけを用い、走行時のエネルギー消費量の少ない交通手段が環境に良い手段であるとして最適化を行った。しかし、環境問題の原因となっているのはエネルギー消費量だけでなく、 $CO_2$ や $NO_x$ などさまざまな要因があり、これらすべてを考慮して初めて環境問題に対する施策と言える。このため、今後はさまざまな環境問題の要因となる要素を考慮した上で学生の環境へ配慮した通学方法が提案されるべきである。

## 参考文献

- [1] 株式会社アルプス社: プロアトラスSV Version1.0.0.9,(2005).
- [2] Google Earth:Google Earth 日本測地系と世界測地系, [http://www.deneb.jp/google\\_earth/index01.html](http://www.deneb.jp/google_earth/index01.html).
- [3] O.Hibi and K.Saito: Summary of automation operation of Linimo and achievement in opening tear, <http://www.maglev2006.com/>.
- [4] 環境省: 13年度版 環境白書, <http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/index.html>.
- [5] 国土交通省国土計画局 国土情報整備室: 街区レベル位置参照情報ダウンロードサービス, <http://nlftp.mlit.go.jp/isj/>.
- [6] 日本エネルギー経済研究所編: EDMC/エネルギー・経済統計要覧(2003年度版), 2003.
- [7] 岡部篤行: Voronoi図と都市地域解析, 計算幾何学と地図処理情報処理第2版, (伊理正夫監修, 腰塚武志編集), 共立出版, 1993, 第9章 都市工学における幾何学的諸問題, 第1節, pp205 - 210.
- [8] 社団法人日本民営鉄道協会: 運賃の割引, <http://www.mintetsu.or.jp/rail/plan/fare.html>.
- [9] 宇留間和基編: 新版環境学がわかる。 , AERA Mook, 朝日新聞社 (2005.2).