第 1 章
序論：歩行者流動分析

1.1 はじめに

最初に，現実の茨城県土浦市における歩行者流動を題材にした分析を述べることにしよう．この分析の基礎となる簡単な理論が，ある意味でこの本の基礎的部分と深い関係があると思われるからである．なおこれは文献 [1] で発表したものであり，かなり以前のデータをもとに分析したものであるが，現実のモデル化という点からみて，意義を失ってはいないと思われるので，データ等の年代を少し変えたが，内容はほぼそのままとした．

日本においては歩行者の流動調査が様々な都市で行われている．これは商店街の活性化や近代化を論ずるのに必要とされており，経年的にも何年かおきに，あるいは毎年行われている．この調査は商店街の主要な地点における通過歩行者を数えたもので，日曜日とそうでない日（月曜日）とを区別し，多くの場合方向を一緒にして（一般的には 2 方向を単に加える）1 日（実際には午前 10 時から午後 7 時まで）の歩行者数として表現されている．

この調査に関して，全国の諸都市でこれまでに投じられた費用や時間は相当なものになるだろう．ところがこれほどの蓄積がありながら，調査地点の歩行者が単に増えたか減ったかの議論に用いられるだけで，これら調査結果が有効に用いられているとは言いがたい．その理由としては，歩行者流動を分析する基礎的な理論がないことと，これに関係するが，何のために流動調査をするかという目的が明確になっていないことを挙げることができる．そこで著者の近くであるという理由で，土浦市の歩行者流動を事例に採り，理論とそれによる分析結果を述べ

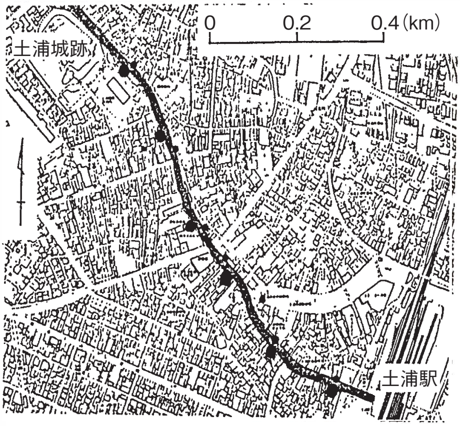

図 1.1　土浦市対象商店街（●：調査地点）

ることにする．

図 1.1 は土浦市の市街地の一部を表したものであるが，ここでは図中の太い実線で表される商店街を対象とする．ここはかつて土浦市の代表的商店街で，土浦駅から土浦城跡まで，長さは約 1 km である．この商店街には図中の点で示したような歩行者調査地点があり，同じ地点での異なる年の調査結果が存在している．この商店街における歩行者流動の量は各地点で年々減り続けており，この商店街の活性化が問題になっていた．流動調査の結果をただ単純にみただけでは各地点で減ったという事実しかわからない．そこで分析目的をまず，この商店街全体として歩行者流動がどのくらい増減したかを示す指標を，歩行者流動調査データから求めることとする．駅の影響が大変強く出ることが予想されるので，この商店街のある地点を通過する流動を，駅から商店街（または商店街から駅）と商店街から商店街とに分け，この 2 種類の流動がどのように変化したかも分析することができるだろう．

1.2　流動調査分析のための理論

ここで商店街のモデルとして図 1.2 のような長さ ℓ の線分を考え，一方の端点を原点 O とした座標を考えるものとする．そして 1 つの流動をこの線分上の始点 P_1 から終点 P_2 までとし，この流動がどの地点で数えられるかについて考えよう．

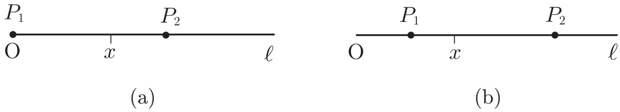

図 1.2　土浦商店街のモデル

駅の地点を O とし，前述の 2 種類のうちの 1 つを流動の始点 P_1 か終点 P_2 のどちらかが点 O にある場合（駅から商店街へ，または商店街から駅へ）とし，もう 1 つを始点 P_1，終点 P_2 のどちらも点 O にない場合（商店街から商店街へ）とする．

まず駅（原点 O）に関係するものについて考えよう．図 1.2 の (a) のように原点 O に流動の出発点 P_1 がある場合，問題は流動の到達点 P_2 が長さ ℓ の線分上でどのように分布するかということである．現実の商店街の構成をみるとデパートや銀行から規模の小さい小売店，はては公園まであり，歩行者の出入りに関する密度分布は時間帯でも異なり，複雑なものであるに違いない．そしてこの分布がわかるくらいなら，なにも歩行者流動調査をすることもなく，個々の集客能力がわかってしまう．そこで少し乱暴だが，商店街における端点の分布を長さ ℓ の線分で一様とみなすことにする．

すると原点 O から距離 x 離れた地点 x における流動は図 1.2(a) のように始点 P_1 が点 O にあり終点 P_2 が x よりも大きい地点にある場合と，この歩行者流動量が往復を合算したものなので，逆に終点 P_2 が点 O にあり始点 P_1 が x よりも大きい地点にある場合を考えればよい．固定されていないほうの点の分布が一様なので，駅と商店街に関する流動の全体量は点の動く範囲の長さに比例して表される．そこで駅と商店街に関する流動量を全体を 1 と規準化して $f_1(x)$ とすれば，P_1, P_2 がそれぞれ長さ ℓ の線分を動くので全体の流動量は 2ℓ に比例する．そして地点 x を通過する流動量は前に述べたように P_1, P_2 がそれぞれ長さ $\ell - x$ の線分を動くので $2(\ell - x)$ に比例する．そこでこれらを比率で表せば

$$f_1(x) = \frac{\ell - x}{\ell} \tag{1.1}$$

が得られ，これを図示すると図 1.3 の f_1 のようになっている．

つぎに商店街から商店街についても，前と同じように原点 O から x 離れた地点 x における流動について考えよう．これについては図 1.2 の (b) のように流動の始点 P_1 が点 x よりも小さい地点にあり，終点 P_2 が x よりも大きい地点にあるか，または，逆に終点 P_2 が点 x よりも小さい地点にあり始点 P_1 が x よりも大き

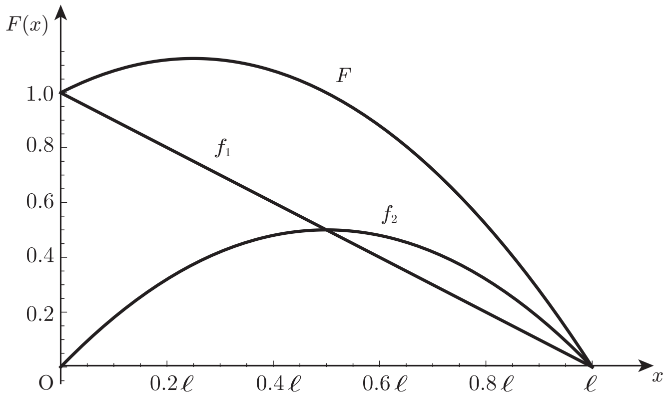

図 1.3　土浦商店街流動量モデル $\boldsymbol{F(x)}$

い地点にある場合を考えればよい．商店街と商店街に関する流動量を全体を 1 と規準化して $f_2(x)$ とすれば，商店街と商店街に関する全体の流動量は P_1 と P_2 が長さ ℓ の線分上で一様だから ℓ^2 に比例する．そして地点 x を通過する流動量は，前にも述べたように端点 P_1, P_2 が互いに地点 x の反対側にある場合を計算すればよい．このとき一方が長さ x の線分上で一様であり他方が長さ $\ell - x$ の線分上で一様なので流動量は $2x(\ell - x)$ に比例する．そこでこれらを比率で表せば

$$f_2(x) = \frac{2x(\ell - x)}{\ell^2} \tag{1.2}$$

が求められる．なおこれについては後ほど，系統立てた論述の中できちんと議論するが（12 ページの式 (2.5)），これを図示すると図 1.3 の f_2 のようになる．

さて実際の歩行者流動量は上の 2 種類の流動を加えたものに違いないが，この比率はわからない．そこで式 (1.1) と (1.2) が規準化されているのを幸い，駅と商店街に関する流動量を α とし，商店街と商店街に関する流動量を β とする．すると原点 O から x 離れた地点 x における，2 種類を合わせた流動量 $F(x)$ は

$$F(x) = \alpha\frac{\ell - x}{\ell} + \beta\frac{2x(\ell - x)}{\ell^2} \tag{1.3}$$

となる．この式を $\alpha = \beta = 1$ として図に表すと図 1.3 の F のようになる．この場合流動量 $F(x)$ のピークは駅と商店街の中央の間にある．これを理論的に求めるために式 (1.3) を x で微分して 0 と置くと

$$x = \left(\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{4\beta}\right)\ \ell \tag{1.4}$$

が得られる．これをもとにピークの点 x_p の範囲を $0 < x_p < \ell/2$ とすると $2\beta > \alpha > 0$ となり，$\alpha > 2\beta$ のときはピークが存在せず，駅が最大値となってあとは商店街の外側まで落ちていくという単純なものになることがわかった．ここで注意しておきたいのはピークは結果として出てくるものであって，アクティビティのピークを意味しているわけではない．つまり一様な商店街のどこかに現れる（前にみたように現れない場合もある）わけで，このようにモデル化して考えないと，見た目に惑わされる，ということがしばしば起こるのである．

現実のデータから α や β を求める方法は，ℓ の値を入れて式 (1.3) を用い，調査地点の x の値と実際の流動量との誤差の 2 乗を最小にすることで求められる．しかしこの研究を発表した頃は，重回帰で係数を求めるほうが易しかったので以下のように行った．まず式 (1.3) を x のべきで整理すれば

$$F(x) = \frac{-2\beta}{\ell^2}x^2 + \frac{2\beta-\alpha}{\ell}x + \alpha \tag{1.5}$$

となり，この式を

$$F(x) = ax^2 + bx + c \tag{1.6}$$

と表せば，式 (1.5) と式 (1.6) の係数の対応関係は

$$a = \frac{-2\beta}{\ell^2}, \quad b = \frac{2\beta-\alpha}{\ell}, \quad c = \alpha \tag{1.7}$$

となっている．これより $\alpha > 0$, $\beta > 0$, $\ell > 0$ という条件で解くと

$$\begin{cases} \alpha = c \\ \beta = \dfrac{-\left(b+\sqrt{b^2-4ac}\right)^2}{8a} \\ \ell = \dfrac{-b-\sqrt{b^2-4ac}}{2a} \end{cases} \tag{1.8}$$

が導かれる．そこで現実のデータから重回帰によって a, b, c が推定できれば，式 (1.8) により，実際には判明していなかった α, β を，そしてさらには ℓ をも推定できることがわかった．

そこで対象商店街全体としての歩行者流動の量を表すものとして，1 地点当たりの平均歩行者流動数を取り上げ，これを $\bar{F}$ とすれば

$$\bar{F} = \frac{1}{\ell}\int_0^\ell F(x)\ \mathrm{d}x = \frac{\alpha}{2} + \frac{\beta}{3} \tag{1.9}$$

となるので，α と β が求められれば，この指標は簡単に計算できる．なお被積分関数 $F(x)$ の式 (1.3) の形から上式の簡潔な結果は想像できないかもしれない．しかしあとで述べる理論より，駅に関係した流動の距離の平均値が $\ell/2$ であり，商店街から商店街の流動の距離の平均値が $\ell/3$ であることが，式 (1.9) の結果と深くかかわっていることを知るであろう．

1.3　理論の当てはめ

まず歩行者数の調査地点を駅から x_i (km)，その場所での集計結果を F_i（人）とし，最小二乗法で係数を求める．先に述べたように文献 [1] では重回帰のプログラムを用いて式 (1.6) の係数 a, b, c を出し，ついで式 (1.8) により求めたい α, β, ℓ を計算した．現在ではソフトが発達し，このようなことは容易にできるようになっている．例えば Mathematica の FindFit を用いると，関数式 (1.5) を入れて直接 α, β, ℓ を求めることができる．式 (1.8) はソフトの内部で処理されているのである．ここでは同じことをやるのではなく，商店街の長さを $\ell = 1\,\mathrm{km}$ と置いて FindFit から α, β の 2 係数のみを求めてみた．またデータも文献 [1] と同じものではなく，最初は 1973 年と同じであるが，あとは 10 年おきに 1983 年，1993 年と，取ることにした．得られた結果を 100 人を単位として丸めて表示すると表 1.1 のようになる．

前にも述べたように，係数 α は駅から商店街または商店街から駅までの歩行者数の推定値で，係数 β は商店街から商店街への歩行者数の推定値であり，$\bar{F}$ は 1 地点当たりの平均歩行者数の推定値を示している．表 1.1 をみると，まずどの推定値も表の順序，すなわち年代と日月の順に数値が減少していることがわかる．特に著しく減少しているのは 1973 年から 1993 年の 20 年間での α の値であり，これは鉄道に乗ってこの商店街に来る人が著しく減少したことを意味する．この間土浦駅の乗降客数にそれほどの変化がないこと，午前 10 時からの観察のため朝の通勤通学客は数えられていないこと等と考え合わせると，鉄道を使ってこの商店街に来る客（買い物や娯楽を求めた人）が著しく減少したことが推定できる．ま

表 1.1　歩行者数の推定結果

調査年と曜日	α（×100 人）	β（×100 人）	$\bar{F}$（×100 人）
1973（昭和 48）年日曜日	139	100	103
1973（昭和 48）年月曜日	99	77	75
1983（昭和 58）年日曜日	87	72	68
1983（昭和 58）年月曜日	53	67	49
1993（平成 5）年日曜日	16	53	26
1993（平成 5）年月曜日	11	50	22

た商店街から商店街の内々の歩行者数 β の減少は α ほどではないが 20 年間で半減している．そして全体について言えば，1 地点当たりの平均歩行者数は最盛期の 1 万人程度から 20 年間で 2 千人台と大幅に減少したものと推定される．

なお個々の当てはまりの程度をみるために，各調査日ごとに観測値を点で表し，

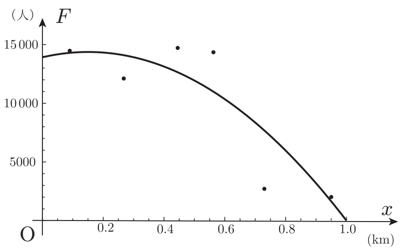

図 1.4　1973 年日曜日の歩行者数

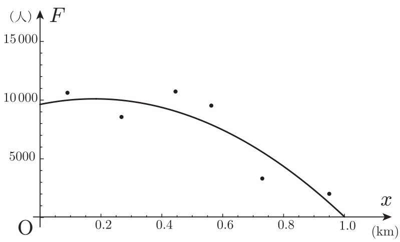

図 1.5　1973 年月曜日の歩行者数

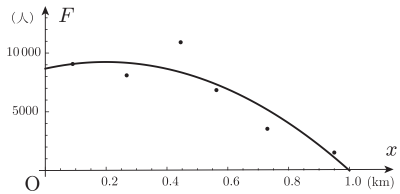

図 1.6　1983 年日曜日の歩行者数

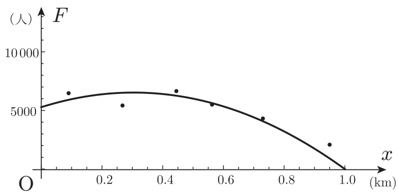

図 1.7　1983 年月曜日の歩行者数

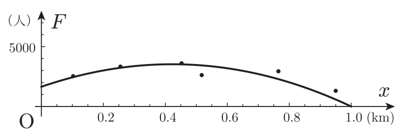

図 1.8　1993 年日曜日の歩行者数

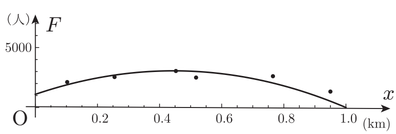

図 1.9　1993 年月曜日の歩行者数

当てはめた曲線とともに示したのが図 1.4 から図 1.9 までである．図 1.4 と図 1.6 の日曜日に駅から 3 番目に近い点の歩行者が曲線を上回っているのはこの近くの百貨店が頑張っていたためで，1993 年には，もうこの百貨店は元気がなかった（その後倒産する）．また 1973 年と 1983 年では調査地点は同じであったが，1993 年には少し異なった地点となっていた．理論のところでの議論でわかるように，調査日ごとに調査地点が違ってもモデル式の推定には問題ないことは明らかであろう．当てはめた 6 日の曲線をまとめて表示すると図 1.10 のようになり，20 年間の推移をわかりやすく示していると言えるだろう．

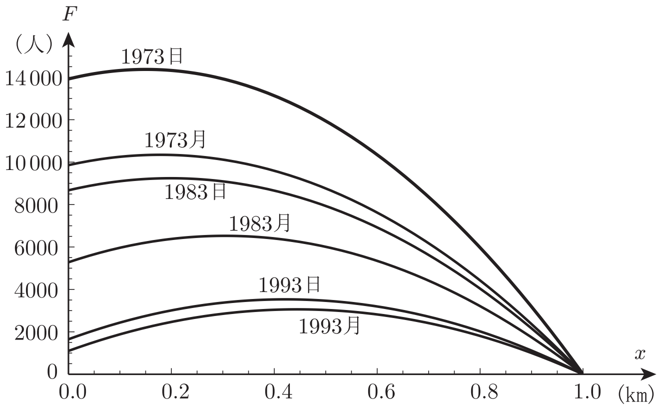

図 1.10　土浦商店街流動量モデル推定結果

1.4　おわりに

以上は日本の駅前商店街のどこにでも起こった現象で，この間のモータリゼーションが劇的に歩行者数を減少させたことを示している．しかしここで述べたのは分析結果に主眼点があるのではない．今から 30 年以上も前，気軽に考えた内々のモデル式 (1.2) がその後色々な局面で重要な役割を担うことになった．そこで，これがこの本の導入としてふさわしいと思い最初に述べたものである．前述のようにこの式 (1.2) については系統立てて述べる部分で再度きちんと議論していきたい．