

[研究論文]

大都市圏における情報交流の分析手法

中 村 有 一

Methodology for Information Flow Analysis in a Metropolitan Area

Yuichi Nakamura

関東地方のMA(単位料金区域)間の通話データを用いて、規模 - 順位間にベキ乗法則が成り立つことが示された。これは自己組織化によりフラクタル的な構造が形成されたことを意味している。またOD データを使った分布形の推定では、対数正規分布に従っていることが確認された。これによってOD データの発生の仕組みを解明するのに役立つだけでなく、それを使った新しいモデルの開発やシミュレーションによる自己組織化の再現実験などへの応用が可能となる。

In general, there is a power law between scale and ranking. In Kanto district, inter-regional information flow data fit the power law. It means a fractal structure is self-organized. The probability distribution of OD data is estimated to be a log-normal distribution. It suggests the mechanism of OD data generation, and it is possible to develop new models or simulate self-organization.

関東地方、大都市圏、情報流動量、単位料金区域、ODデータ、ジップの法則、ベキ乗法則、フラクタル、対数正規分布、正規QQプロット

Kanto district, metropolitan area, information flow, message area, OD (Origin-Destination)data, Zipf's law, power law, fractal, log-normal distribution, normal QQ plot

(原稿受領日 2007.1.9)

はじめに

地域間の情報流動量を定量的にモデル化する手法としては、従来から様々な手法が試みられてきた。よく利用されるのはグラビティ・モデルやエントロピー・モデルなどで、一般に「空間的相互作用モデル」と呼ばれるモデルである。⁽¹⁾

これらのモデルは、地域間の流動量を、地域の規模と地域間の距離または移動コストをもちいて説明しようとするものである。本来、情報の流れは距離を克服するためのものであるが、現実の情報の流れは距離に大きく依存し、距離とともに減衰していくエントロピー・モデルな

どによく当てはまる。ただし、これは料金体系が距離に依存していることや、人の流れ(旅客流動)と情報の流れ(情報流動)の関連が強いためと考えられ、今後必ずしも距離によって説明できないような現象が現れるかもしれない。

本論文では、従来から用いられている距離を用いたモデルからいったん離れて、データの特性を別の視点から考察していくことにする。そのため手法としては、規模データをベキ乗法則に当てはめる手法と、OD(Origin Destination)データの分布形を調べる手法を試みる。

分析の対象となるデータは、NTT 東日本が毎

年公表している「電気通信役務通信量等状況報告(平成17年度)」と呼ばれているデータの一部である。⁽²⁾ このデータは加入電話の「単料金区域間通信量」と呼ばれているもので、全国566のMA(Message Area:単料金区域)間のODデータである。すなわち地域*i*から地域*j*に流れた情報量*T_{ij}*を量的に行列の形で表したものである。また発信地域ごとの合計データも含まれている。このデータでは、発信量の合計にしめる割合が0.01%未満のものは切り捨てられており、大部分のマス目が、欠損値として扱われている。このため個別のデータを足しあわせても合計の値と一致することはないので、データの取り扱いには注意が必要である。

OD行列のマス目は566 × 566 = 320356個にもなり、これを一度に分析するのは煩雑になるため、今回はある程度まとまった地域を取り出し、その地域に限定して分析を行うことにした。とりあげた対象地域は関東地方の1都6県(茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県)である。また東京都の離島部分(伊豆大島、三宅、八丈島、小笠原の4MA)については、質的に異なる挙動をとると思われるので除外した。これにより取り扱う範囲は、75個のMAからなる地域になり、そのデータは、75 × 75 = 5625個で、現実的な規模になる。

関東圏のMAのデータを取り上げたのは、ある程度まとまった自律システムと考えられるからである。あとで分析に使うべき乗法則が成り立つためには、この条件が必要となる。また関東圏には大都市が含まれており、大都市圏特有の現象を調べるのに適していると考えられる。北部には大都市がなく、南部には大都市圏が広がっていることも、比較分析を行う上で便利である。

MAはもともと社会生活圏と一致するように設計されている。これは行政区画でいうと市区

町村よりも大きく県よりも小さい単位となる。近年、大都市圏の拡大とともに、MAと社会生活圏の不一致が問題となってきている。つまり大都市近郊ではMAよりも社会生活圏の方が広がってきているのである。なお全般的な通信利用の状況については総務省から発行されている「トラヒックからみた我が国の通信利用状況(平成16年度)」という報告書が参考になる。⁽³⁾

図1は、MAの位置関係を把握するために、関東地方のMAを平面上に配置したものである。ここでは通話料金計算の基準となるMAの座標データを使って配置しているが、一部のMAについては名前が重なって読みにくいので多少ずらせて表示してある。また表1は、対象となるMAを県ごとに分け、通し番号を付したものである。この順番は、元のデータで使われていたものであるが、特に意味はないと思われる。なお以下の分析において、「北関東」といった場合は、茨城、栃木、群馬の3県を、「南関東」といった場合は、埼玉、千葉、東京、神奈川の1都3県を指すものとする。

分析用ソフトとしては、主にR言語を使用している。⁽⁴⁾ これは統計計算用のプログラミング

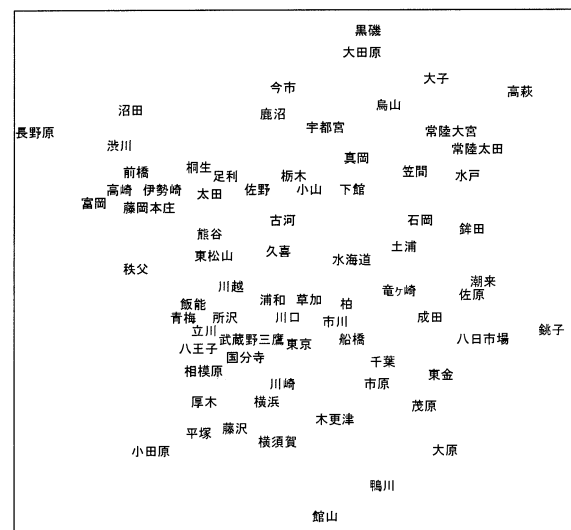


図1 関東地方のMAの位置

表1 分析の対象となる関東地方のMA (数字は通し番号)

北 関 東			南 関 東			
茨城県	栃木県	群馬県	埼玉県	千葉県	東京都	神奈川県
01 水戸	15 宇都宮	26 前橋	36 川越	47 千葉	62 東京	68 横浜
02 土浦	16 足利	27 高崎	37 熊谷	48 銚子	63 八王子	69 川崎
03 古河	17 栃木	28 桐生	38 川口	49 市川	64 立川	70 横須賀
04 石岡	18 佐野	29 伊勢崎	39 浦和	50 船橋	65 武蔵野	71 平塚
05 下館	19 鹿沼	30 太田	40 秩父	51 館山	三鷹	72 藤沢
06 竜ヶ崎	20 今市	31 沼田	41 所沢	52 木更津	66 青梅	73 小田原
07 水海道	21 小山	32 渋川	42 飯能	53 佐原	67 国分寺	74 相模原
08 常陸太田	22 真岡	33 藤岡	43 本庄	54 茂原		75 厚木
09 高萩	23 大田原	34 富岡	44 東松山	55 成田		
10 笠間	24 黒磯	35 長野原	45 草加	56 東金		
11 常陸大宮	25 烏山		46 久喜	57 八日市場		
12 大子				58 柏		
13 鉾田				59 市原		
14 潮来				60 鴨川		
				61 大原		

言語で、もともと普及していたS言語というソフトとの互換性を意識して、フリーソフトとして作られたものである。(5)

ベキ乗法則の理論的背景

言語学者であったジップは、英文中の単語の出現頻度を調べることにより、頻度がn番目の単語は、頻度が1番目の単語の1/nの確率で現れることを発見した。(6) これを実際の例でみると、英語の場合もっともよく現れる単語は「the」で、その出現確率は0.1である。2番目の「of」は「the」の1/2の確率である0.05の確率で現れる。そして3番目の「and」の現れる確率は、「the」の1/3の確率である0.033となる。この出現頻度の順位1, 2, 3, ...と出現確率0.1, 0.05, 0.033, ...を両対数グラフにプロットすると、傾きが-1の右下がりの直線になる。以上がジップの法則の原型である。

その後、ジップの法則は社会科学の分野でも

さまざまな現象に当てはまることがわかってきた。この法則を都市の人口規模に当てはめた場合、都市の人口とその順位の積はほぼ一定になることが知られている。つまり第1位の都市の人口が100万人としたとき、第2位、第3位の都市の人口は、それぞれ50万人、33万人となる。

以上の法則を数式で表現してみよう。規模(サイズ)を表す量をsとし、それを降順(大きい順)にソートしたときの順位をrとすると、sとrの積が一定になるというのが法則の意味である。これを式で書けば以下のようなになる。

$$sr = c \text{ (一定)}$$

ベキ乗のパラメータnを導入して上の式を一般化すると、次のようになる。

$$sr^n = c \text{ (一定)}$$

この一般化された式で表される法則は、「ベキ乗法則」と呼ばれている。この式の両辺の対数をとって、整理すると、

$$\log s = -n \log r + \log c$$

となり、これからlog sとlog rの間には線形の関

係が成り立つことがわかる。つまり s と r を両対数グラフにプロットすると、傾き $-n$ の直線にのることになる。上の式で、 $y = \log s$, $x = \log r$, $a = -n$, $b = \log c$ とおくと、

$$y = ax + b$$

となる。ここで実際のデータがあれば、最小2乗法を使って直線の傾き a と、切片 b を求めることができる。

ジップの法則は、フラクタル性(自己相似性)と深い関係にあり、自律的な発展過程の結果として得られたある種の安定状態を記述する法則である。従って自律的な都市成長や自己組織化が行われれば、ある段階から階層的な構造を持つようになり、これがジップの法則として発現するものと考えられている。また直線の傾き n には、このフラクタル的分布の特徴を表すパラメータとしての意味がある。⁽⁷⁾

関東地方の規模分析

ここでは情報からみた地域の規模として、通話回数の発信 MA ごとの合計値を取り上げ、これがベキ乗法則に従うかどうかについて考察していく。

図2は、通話回数の合計値とその順位を両対数グラフ上にプロットしたものである。これが直線状に分布すれば、ベキ乗法則が成り立っていることを示すが、このグラフでは、全体として直線にのせるには無理があるように見える。このため図2では、部分的に直線を当てはめることにした。2本ある直線のうち下の直線は、規模からみて上位6個のMAについて当てはめたもの、上の直線は、規模にして20位から69位までの50個のMAを当てはめたものである。

表2は、2本の直線を最小2乗法で当てはめたときの係数の値である。このうち切片にはあまり意味がないが、傾きには地域間の結びつき

の構造を表す指標としての意味がある。また地域構造をフラクタル的(自己相似的)にとらえたときに、その次元に対応する意味づけも可能である。

通話回数の合計値の規模によってソートしたデータは、表3に示すが、ここでは上位からA, B, C, Dの4つのグループに分けて考える。下の直線は上位のAグループについて当てはめたもの、上の直線はCグループについて当てはめたものである。この2つの直線はほぼ同じ傾き(-1.5 程度)になっており、ベキ乗法則に従っていると考えられる。

表3のBグループについては、傾きが他のグループに比べてゆるやかであるが、これらの地域は、大都市の近郊に位置するものが多く、都市としての自立性が弱い。つまり本来他の地域と一緒にして1つの地域として扱うべきものであると考えられる。表3では、参考のために各MAの「内々率」の値を求めている。この内々率とは、地域からの発信量のうち自地域内に着信する量の割合のことである。これが大きい場合は独立した圏域と考えられるが、小さい場合は独立性が低く、他の地域と一体化していることを意味している。たとえば武蔵野三鷹や国分寺などのMAは、内々率が低く、独立した圏域とは考えられない。一方このBグループには、水戸や宇都宮など北関東の県庁所在地の都市が現れる。これらは独立した都市と考えられるが、Bグループに属する13個のMAのなかで、水戸、熊谷、宇都宮を除く10個のMAは、大都市近郊の独立性の低い都市と考えられるので、これらを取り除けば、Bグループのデータが10個分減り、図2の右側の直線が左に平行移動して、全体として1本の直線上に並ぶような配置に近づくことになる。

最下位のDグループであるが、鴨川、長野原、大子など関東地方の周辺部にある規模の小さな

MAにあたる。これらの地域は小規模であり、大都市圏のシステムに組み込まれていないため、ベキ乗法則からははずれているものと考えられる。

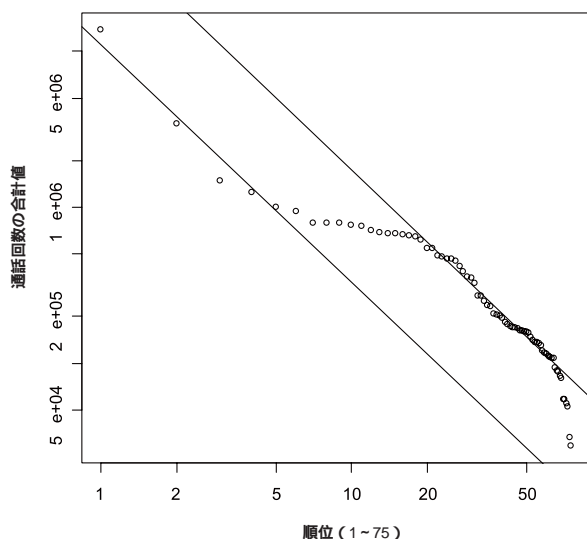


図2 通話回数の合計値とその順位
の両対数プロット (関東地方全域)

表2 直線 $y = ax + b$ を当てはめたときの
係数値 (関東地方全域)

	a (傾き)	b (切片)
上位6 MA の直線	- 1.526	7.045
下位50MA の直線	- 1.537	7.775

北関東と南関東における規模分布の比較

規模分布におけるベキ乗法則をより細かくみるために、ここではMAを北関東と南関東にわけ、比較考察していくことにする。北関東では、大都市圏の影響が少なく、全体を結びつける力が弱いものと思われる。これに対して南関東では、大都市東京の影響が大きく現れるはずで、北関東とは違ったパターンを示すことが予想される。(8)

図3は、北関東のMAに対して通話回数の合計値とその順位を両対数グラフ上にプロットし

たものである。これが直線状に分布すれば、ベキ乗法則が成り立っていることを示すが、図3では、全体として直線にのせるよりも、2本の直線で近似した方がいいだろう。傾きのゆるいほうの直線は、規模からみて上位20MAのデータから求めたもので、傾きの急な直線は、最下位の2個を除く下位13個のMAについてあてはめたものである。また表4は、2本の直線を最小2乗法で当てはめたときの係数の値である。

北関東では、上位の直線の傾きは通常半分以下(-0.6程度)で、かなりゆるやかになっている。これは、北関東では広域にわたって中心となる都市がなく、いくつかの圏域が並列的に存在しているためと考えられる。つまりそれぞれの圏域に含まれる都市が、2重または3重に混ざって現れるために、傾きがゆるやかになるのであろう。また県庁所在地の都市のように政策的に作られた都市があるため、自然発生的な秩序からは逸脱している可能性もある。

下位の直線の傾きは、-1.8程度で、全体の階層構造から求めた値(-1.5程度)と大きな違いはない。つまりベキ乗法則が成り立っていると考えられる。

表3 通話回数の合計の順位(大きい順)と内々率

グループ	順位	M A	通話回数	内々率 (%)	グループ	順位	M A	通話回数	内々率 (%)
A	1	東京	13725939	96.74	C	39	栃木	200055	75.76
	2	横浜	3434236	87.13		40	東松山	193011	67.51
	3	浦和	1472619	82.55		41	八日市場	182894	68.74
	4	千葉	1246383	78.83		42	古河	176342	88.24
	5	川崎	999526	73.17		43	大田原	170876	76.73
	6	立川	937491	65.75		44	水海道	168636	74.17
B	7	川口	792907	69.88		45	茂原	168299	68.80
	8	藤沢	791841	69.66		46	潮来	165422	81.24
	9	武蔵野三鷹	790890	55.06		47	東金	162071	65.76
	10	市川	770916	71.50		48	銚子	160830	78.77
	11	船橋	759208	72.76		49	石岡	158043	70.94
	12	相模原	706472	73.82		50	渋川	158043	73.81
	13	水戸	683318	82.93		51	足利	154894	88.23
	14	国分寺	680973	56.40		52	竜ヶ崎	145855	75.42
	15	熊谷	673178	77.58		53	館山	140971	81.86
	16	川越	668566	75.19		54	佐原	136333	70.50
	17	厚木	652856	65.06		55	青梅	135108	64.25
	18	宇都宮	640650	82.70		56	秩父	132993	84.94
	19	草加	612998	75.75		57	佐野	130295	82.44
C	20	柏	544163	79.38	58	真岡	119188	79.71	
	21	平塚	543342	73.34	59	飯能	116378	68.82	
	22	横須賀	490801	76.25	60	本庄	114032	73.00	
	23	八王子	481627	66.59	61	鹿沼	109918	72.79	
	24	土浦	465919	77.56	62	沼田	108718	83.93	
	25	所沢	462088	76.44	63	大原	107396	72.70	
	26	高崎	448007	75.96	64	今市	106539	77.30	
	27	小田原	414420	79.42	65	高萩	92910	74.90	
	28	前橋	387403	73.45	66	黒磯	89258	76.00	
	29	久喜	357596	71.73	67	富岡	88107	74.19	
	30	太田	349064	85.61	68	笠間	81779	67.34	
	31	木更津	326191	81.54	69	藤岡	79769	71.25	
	32	常陸太田	270074	76.77	D	70	烏山	58693	71.18
	33	成田	267680	68.68		71	鉾田	58054	67.07
	34	市原	248219	71.17		72	常陸大宮	55035	67.76
	35	下館	235211	82.37		73	鴨川	52359	70.33
	36	伊勢崎	229317	70.87		74	長野原	33186	78.83
	37	桐生	205718	80.93		75	大子	29418	78.39
	38	小山	202993	77.69					

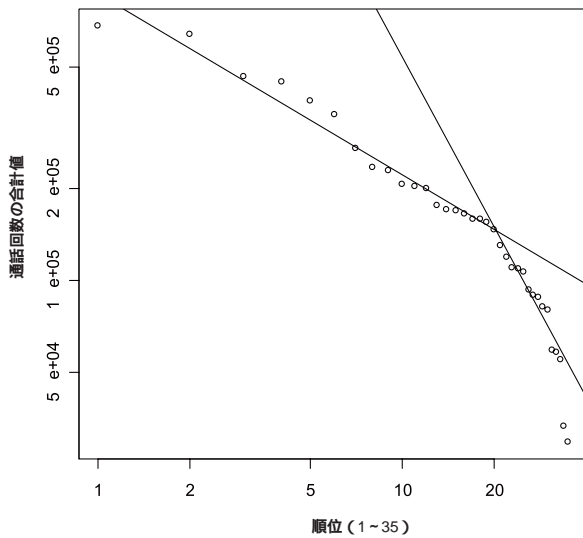


図3 通話回数の合計値とその順位の
両対数プロット (北関東)

表4 直線 $y = ax + b$ を当てはめたときの
係数値 (北関東)

	a (傾き)	b (切片)
上位 20MA の直線	- 0.595	5.940
下位 13MA の直線	- 1.852	7.585

図4は、南関東のMAに対して通話回数の合計値とその順位を両対数グラフ上にプロットしたものである。これが直線状に分布すれば、ベキ乗法則が成り立っていることを示すが、図4では、全体として直線にのせるのは無理があるため、上位の部分と下位の部分を2本の直線で近似し、中間の部分はベキ乗法則からはずれるものとして扱うことにする。これは図2の関東地方全域の場合と同様の考え方に基づくものであり、大都市近郊の独立性の低い都市を意図的に除いたモデルである。つまりどの部分を直線で近似するかは、都市の特性(大都市の近郊かどうか)を考慮して決めている。2本の直線の傾きは、ほぼ同じ大きさで、全体的に共通する秩序構造が背景にあるものと思われる。上位の

直線は規模からみて上位6個のMAのデータから求めたもので、下位の直線は、最下位の1個を除く下位11個のMAについて当てはめたものである。また表5は、2本の直線を最小2乗法で当てはめたときの係数の値である。

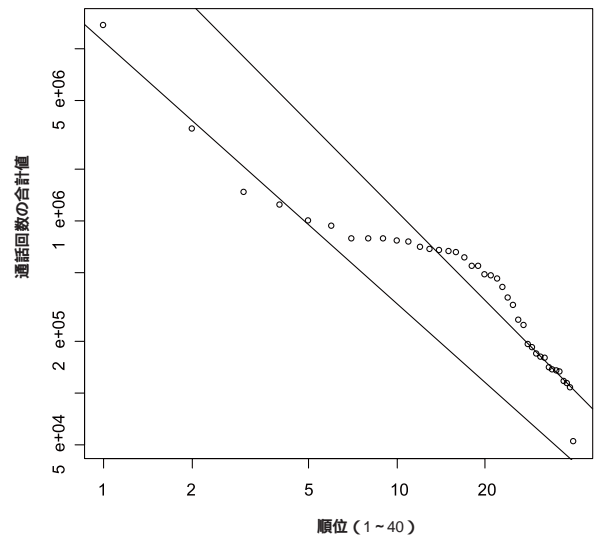


図4 通話回数の合計値とその順位の
両対数プロット (南関東)

表5 直線 $y = ax + b$ を当てはめたときの
係数値 (南関東)

	a (傾き)	b (切片)
上位 6 MA の直線	- 1.526	7.045
下位 11MA の直線	- 1.723	7.781

南関東では、関東全域の場合と同じような傾向がみられる。これは、南関東では広域にわたって中心となる大都市があり、その影響が全域に及んでいるためと考えられる。また大都市近郊のMAが多くあり、それらが連続しているため、必要以上に地域が分割されていることになり、その結果グラフ上ではコブのような形となって現れる。

表6は、北関東と南関東でそれぞれ2本ずつの直線を当てはめるときに使ったデータを、下線と囲み線で示したものである。

表6 北関東・南関東別の規模順位リスト

(通話回数合計値の大きい順で、数字は順位を表す。また、下線および囲み線は、北関東と南関東でそれぞれ2本ずつの直線を当てはめるときに使ったデータを表す。)

北 関 東		南 関 東	
1：水戸	21：佐野	1：東京	21：八王子
2：宇都宮	22：真岡	2：横浜	22：所沢
3：土浦	23：鹿沼	3：浦和	23：小田原
4：高崎	24：沼田	4：千葉	24：久喜
5：前橋	25：今市	5：川崎	25：木更津
6：太田	26：高萩	6：立川	26：成田
7：常陸太田	27：黒磯	7：川口	27：市原
8：下館	28：富岡	8：藤沢	28：東松山
9：伊勢崎	29：笠間	9：武蔵野三鷹	29：八日市場
10：桐生	30：藤岡	10：市川	30：茂原
11：小山	31：烏山	11：船橋	31：東金
12：栃木	32：鉾田	12：相模原	32：銚子
13：古河	33：常陸大宮	13：国分寺	33：館山
14：大田原	34：長野原	14：熊谷	34：佐原
15：水海道	35：大子	15：川越	35：青梅
16：潮来		16：厚木	36：秩父
17：石岡		17：草加	37：飯能
18：渋川		18：柏	38：本庄
19：足利		19：平塚	39：大原
20：竜ヶ崎		20：横須賀	40：鴨川

ODデータの分布形の推定

ODデータは、地域間の交流量を行列の形にまとめたものであるが、MA内部の交流量は外部の交流量に比べて格段に大きく、一緒に扱うには異質な存在である。このため通常は、内部の交流量は取り除いて分析することが多い。今回も内部の(内々の)交流量は取り除き、さらに値がゼロの要素についても取り除いた。これは実際にデータの値がゼロであるわけではなく、測定できてない、あるいは一定の値以下で切り捨てられたと考えられるためである。またデータ処理の場面でも、データにゼロがあると、対数がとれないなど不都合が生じるので、今回は取り除いた。内々の要素とゼロの要素を取り除いた結果、本来 $75 \times 75 = 5625$ 個あったデー

タの個数は911個にまで減少した。

この911個のデータがどのような確率分布に従うのか調べてみる。その第1歩として、まずデータから確率密度関数を推定してグラフに描いてみる。このためにはR言語の density 関数を利用する。⁽⁵⁾ 図5は、その結果を示したものである。このグラフをみるとゼロの近くで密度が非常に高く、値が大きくなると急激に減少している。当然ゼロ以上の値しかもたないが、このような分布としては、ベキ乗分布、指数分布、対数正規分布などが考えられる。

まずベキ乗法則に従うかどうかを調べてみよう。その方法は、前にもとりあげたが、データを降順(大きい順)にソートして、その順位とともに両対数グラフにプロットするものである。これにより右下がりの直線が現れれば、ベキ乗

法則に従っていると考えられる。つまりデータはベキ乗分布に従っていることになる。

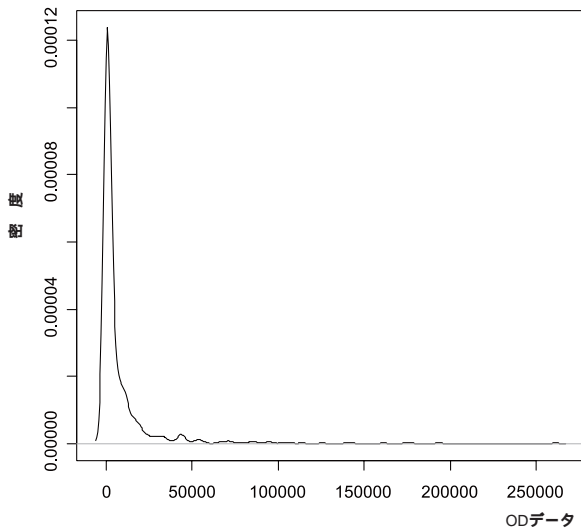


図5 ODデータの確率密度関数の推定

実際にこの操作を行った結果が、図6である。この図で横軸は順位の対数、縦軸はODデータ(通話回数)の対数である。このグラフを見ると、上位の分布は直線に当てはまらないこともないが、全体的にみて直線に当てはまっているとは言い難い。

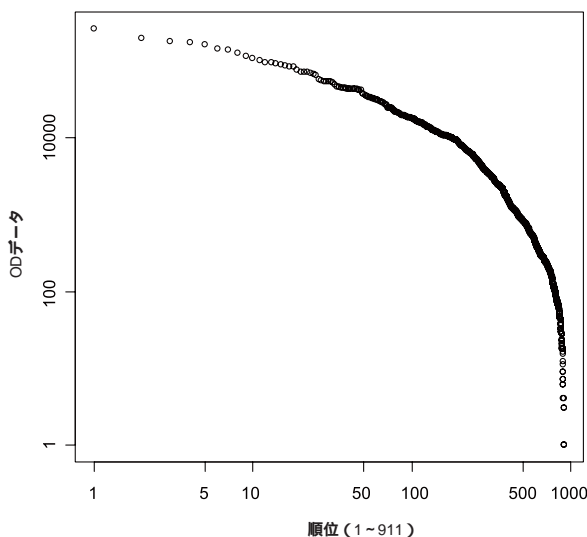


図6 ODデータとその順位の両対数プロット

一般に、図6のようなカーブを描き、右の部分が垂れ下がったような分布は、対数正規分布

に特徴的なパターンであることが知られている。対数正規分布とは、そのデータの対数をとれば正規分布になるような正の数の分布のことである。この点を確認するために、データの対数をとって、確率密度関数を推定してみた。その結果をグラフに表したものが図7である。これはほぼ正規分布に従っているとみていいだろう。さらにこれを確かめるために、「正規QQプロット」を試みた。これにはR言語のqqnorm関数を利用する。⁽⁵⁾ この結果、直線のパターンが現れれば、正規分布することが確認できる。図8は、その結果を示したものであるが、かなりはっきりと直線のパターンが現れていることがわかる。つまりODデータは、対数正規分布に従うことが確認されたことになる。

対数正規分布は、対象となる事象が独立な確率的事象の積に分解できるような場合に現れる。つまり互いに様々な変量が乗算の形で影響を及ぼしあっている時に現れる分布である。ある事象の確率 p が、独立な確率の積で表される以下のような場合を考えてみよう。

$$p = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot \dots$$

この対数をとると、以下のようなになる。

$$\log p = \log p_1 + \log p_2 + \log p_3 + \dots$$

ここで右辺の各項は独立に変動するため、中央極限定理により右辺は正規分布に近づいていく。したがって p の分布は対数正規分布になる。⁽⁷⁾

このように乗算の形で影響を及ぼしあっていることがわかれば、ODデータのモデル化に利用できる可能性が出てくる。また分布形を仮定して乱数を発生させ、シミュレーションに利用したりすることも可能となる。将来的にはODの発生メカニズムを考慮したモデルを作り、お互いに影響し合うことにより、自律的な秩序が生まれる過程を、シミュレーションにより再現することができるようになるかもしれない。

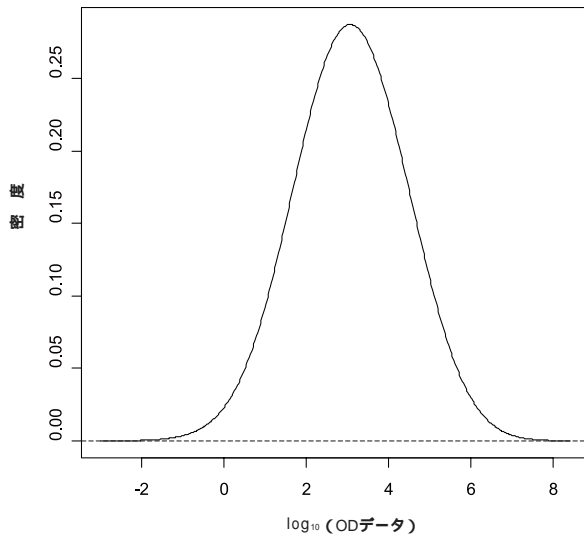


図7 ODデータの対数をとったものの確率密度関数の推定

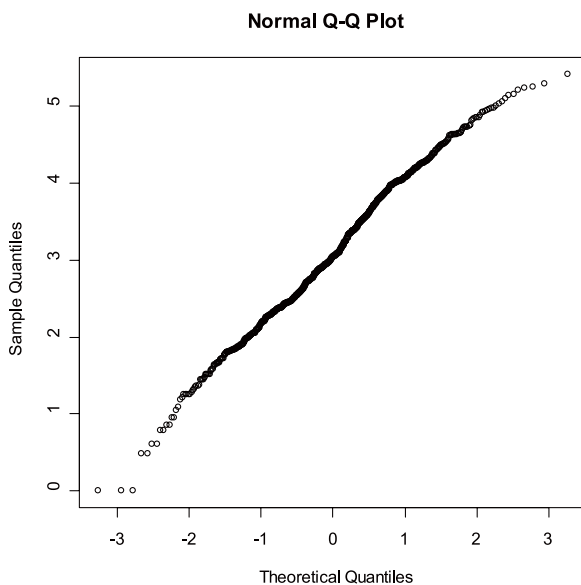


図8 ODデータの対数をとったものの正規QQプロット

おわりに

地域の通話回数の発信量を規模データとして用い、ベキ乗法則にもとづく分析を進めてきたが、かなり秩序だった地域の構造があることが明らかになった。大都市の近郊地域においては、特殊な振る舞いを見せることもあるが、ほぼベキ乗法則は大きな枠組みとして成り立っている

と考えてよさそうである。本研究では、細かなデータの変動とは無関係に成立する大まかな原理を探ることが目標であり、それをもとにして前提条件の少ない自然なモデルを構築していくことを目指している。

後半の分析では、ODデータを使って、その分布形を探ってきた。結果として対数正規分布に従うことがわかった。分布形を調べることは、基本的なことではあるが、そのデータの生成のメカニズムを探る上で重要な意味をもっている。これを手がかりにして、さらに現実に即したモデルを構築し、自然なシミュレーションモデルを開発していきたい。

参考文献

- (1) 野上道男、杉浦芳夫「パソコンによる数理地理学演習」古今書院（1986）
- (2) NTT 東日本「電気通信役務通信量等状況報告」平成17年度（2005）
<http://www.ntt-east.co.jp/info-st/network/traffic.html>
- (3) 総務省「トラフィックからみた我が国の通信利用状況」平成16年度（2004）
<http://eidsystem.go.jp/doukou/sijyoudoukou/traffic/riyou>
- (4) 「The R Project for Statistical Computing」
<http://www.r-project.org/>
- (5) R. A. ベッカー、J. M. チェンバース、A. R. ウィルクス（渋谷政昭、柴田里程 訳）「S言語 データ解析とグラフィックスのためのプログラミング環境 I, II」共立出版（1991）
- (6) George K. Zipf, *Human Behaviour and the Principle of Least-Effort*, Addison-Wesley, Cambridge MA, 1949
- (7) 高安秀樹「フラクタル」朝倉書店（1986）
- (8) 中村有一、南部世紀夫、長谷川文雄「関東地方における通話の都市間交流に関する研究」、1992年度日本都市計画学会論文集、pp.325-330（1992）
- (9) 中村有一、長谷川文雄「単料金区域からみた通話トラフィックの基本特性に関する研究」、平成3年度情報通信学会年報、pp.106 - 119（1992）
- (10) 中村有一、高嶋裕一「通話トラフィックデータに基づく単料金区域の統合化手法に関する考察」、TIMIS JOURNAL No.32（1993）

著者プロフィール

中村有一 (なかむら ゆういち)

多摩大学経営情報学部

Tama University