

# 航空の新規路線における旅客数の予測

2011SE013 浅野あやめ 2011SE237 島津拓矢

指導教員：三浦英俊

## 1 はじめに

日本全国には多くの空港や航空会社が存在しており、年間でおよそ8500万人、1日ではおよそ23万人もの人々に利用されている。航空は主に、仕事（通勤以外）、旅行（観光趣味等）、実家へ帰る、親戚や友人へ会いに行くなど、様々な目的により多くの人に利用されていると考えられる。

最近では、格安航空会社としてLCC(Low Cost Carrier)が注目されている。LCCとは、従来の航空会社（レガシーキャリア）で行われていたサービスを簡素化、運行の効率化、運行費用の徹底した削減などを行うことで、低価格の運賃を実現している会社のことである。レガシーキャリアとLCCの競争が激しいなか、路線の廃止や新規増設が何度も行われている。そこで本研究では、航空の実際のデータから、新しく路線を設置することを考えて、新規路線での旅客数の予測を行う。

## 2 研究について

本研究は、現在存在していない空港間の路線を新規で設置した場合どれだけの旅客数が利用するかを、クリギング法を用いて予測する。実際の旅客数のデータ、空港間の路線間距離から最適なバリオグラム関数を推定し、得たバリオグラム関数から予測値を求める。予測する路線についてはロジット回帰分析を用いて、最適な経路を見つけ、その経路の旅客数を予測していく。

## 3 日本の航空路線の概要

現在日本全国の空港は、自衛隊が管理しているものを含め、97空港ある。平成24年、路線数は231路線である[2]。

## 4 新幹線との比較

航空を利用するメリットとして、時間が早い、乗り過ごす心配がない、移動が空中であるため地上では空港のみの敷地で済む（路線がいない）等が考えられる。それに対しデメリットは、乗車するまでに時間と手間がかかる、本数（便）が少ない、値段が高いなど様々な不便性がある。

## 5 LCCについて

LCCを利用するメリットとして、とにかく低コストで利用できることが挙げられる。それに対しデメリットは、座席の間隔がせまい、機内食・飲み物が有料である、毛布やイヤホンの貸出しが有料である、トラブルが起きた場合はすべて自己責任、スーツケース等の荷物を預けるのが有料、乗り継ぎが不便、アクセスの不便な空港が使われているなどが考えられる。レガシーキャリアと比べて低コストであり手軽に利用できるようになったが、その分様々なサービスが劣っている[3]。

## 6 クリギング法

### 6.1 記号説明

以下のように変数を定義する。

- $(h)$  ... バリオグラム関数
- $n$  ... 路線の数
- $d$  ... 空港間の距離
- $r_{ij}$  ... 路線  $i$  と路線  $j$  との間の距離
- $h$  ... 路線間の距離差
- $x_i$  ... 路線  $i$  の緯度経度
- $Z(x_i)$  ... 路線  $i$  の旅客人数
- $\hat{Z}(x_i)$  ... 路線  $i$  の旅客人数の予測値
- $\beta$  ... パラメータ
- $w_i$  ... 路線  $i$  の重み係数

### 6.2 路線間距離

2つの路線をそれぞれ  $i, j$  とする。図1のように、路線  $i$  は緯度  $x_{i1}$ 、経度  $y_{i1}$  の空港  $A_i(A_i = (x_{i1}, y_{i1}))$  と、緯度  $x_{i2}$ 、経度  $y_{i2}$  の空港  $B_i(B_i = (x_{i2}, y_{i2}))$  を結んでおり、路線  $j$  は緯度  $x_{j1}$ 、経度  $y_{j1}$  の空港  $A_j(A_j = (x_{j1}, y_{j1}))$  と、緯度  $x_{j2}$ 、経度  $y_{j2}$  の空港  $B_j(B_j = (x_{j2}, y_{j2}))$  を結んでいる。

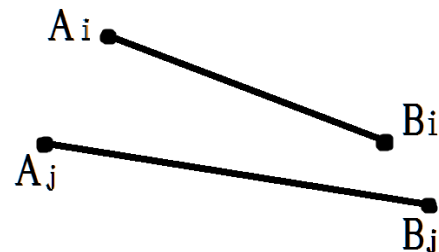


図1 路線  $i, j$

このとき路線  $i$  と路線  $j$  の「距離」を路線間距離として、次のように定義する。

$$d = 6370 \arccos\{\sin X_1 \sin X_2 + \cos X_1 \cos X_2 \cos(Y_1 - Y_2)\}$$

$$r_{ij} = \min\{d(A_i, A_j) + d(B_i, B_j), d(A_i, B_j) + d(B_i, A_j)\} \quad (1)$$

これを図として表したのが図2である。路線間距離は2つの場合が存在し、それぞれ赤線距離の和と青線距離の和の場合である。このうち短い方の距離を路線間距離として扱う。

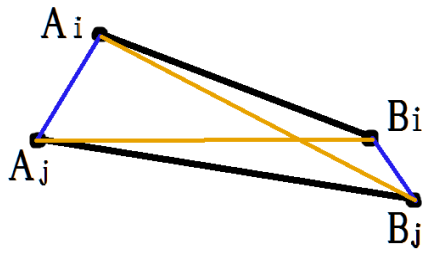


図 2 路線間距離

### 6.3 クリギング法

データ  $Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_n)$  の線形結合  $\hat{Z}(x_0) = w_1 Z(x_1) + w_2 Z(x_2) + \dots + w_n Z(x_n)$  で未観測の位置  $x_0$  での値  $Z(x_0)$  を予測する。ここで、重み係数  $w_1, w_2, \dots, w_n$  は不偏性  $E|\hat{Z}(x_0) - Z(x_0)| = 0$  が成り立つ範囲で平均二乗予測誤差  $E|\hat{Z}(x_0) - Z(x_0)|^2$  が最小になるように決められる。

$$\begin{aligned} \min. \quad & E|\hat{Z}(x_0) - Z(x_0)|^2 \\ \text{s.t.} \quad & \hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n w_i Z(x_i) \\ & \sum_{i=1}^n w_i = 1 \end{aligned}$$

この重みをバリオグラム関数を用いることによって求める。

### 6.4 バリオグラム関数

クリギング法では、未知観測位置でのデータ値が観測位置でのとある確率的相互関係を大前提としており、バリオグラム関数によって指定される。バリオグラム関数は固有定常確率場の空間的依存性を特徴づける基本特性量で、

$$(h) = (E|Z(x) - Z(y)|)^2 / 2 \quad (2)$$

で定義される関数である。

固有定常性の仮定から共分散関数は位置  $x, y$  の差分  $h = x - y$  のみに依存する。実在しているデータからモデルの型とそれに含まれる未知のパラメータを推定しておく必要がある。このバリオグラム関数として、指数モデルを使うこととして  $h, \quad$  を使い、

$$(h) = \{1 - \exp(-h/\quad)\} \quad (3)$$

とする。この  $\quad$  をパラメータとして最適な解を求める。

## 7 ロジスティック回帰分析

都道府県単位で平成 25 年度の各都道府県の便の有無を国土交通省のデータを参考に調べてみた。やはり新幹線が多くある地方は新幹線を利用する為、飛行機の利用は少ない。当然飛行機を使うほどではない距離では、飛行機の利

用はない。路線がある都道府県路線がはたして本当に必要な路線なのだろうかといった疑問が生まれた。そして路線がない都道府県は新しく作成するべきではないだろうか。このことを分析してみることにした。この分析に必要なのがロジット回帰分析である。この分析は 2 県間に便がある確率同士を推定する確率モデルである。

### 7.1 ロジスティック

ある確率をも求めるにあたり数値が 1 に近いほど路線を作った方がよい。

数値が 0 に近いほど路線を作らない方がよい。このように定義する。

ロジット回帰分析に必要なものは大きく 3 つある。

1. 都道府県県庁所在地間の距離を  $X_1$
2. 都道府県間における新幹線有無を  $X_2$
3. 都道府県間の人口の積を  $X_3$

とする。

それぞれの求め方について。

- 1 沖縄、離島を除く全都道府県の緯度経度をグーグルマップより。
- 2 新幹線路線図より。
- 3 グーグルマップより。

### 7.2 ロジットモデル

$P_0$  : 2 つの空港間に航空便がない確率。

$P_1$  : 2 つの空港間に航空便がある確率。

$\beta$ : 係数を推定する。

$x$ : データとする。

このように定義する。

$$P_1 = \frac{e^{v_1}}{e^{v_0} + e^{v_1}}$$

$$P_0 = 1 - P_1$$

ここで  $P$  を数式変換すると、

$$P_1 = \frac{1}{1 + e^{v_0 - v_1}}$$

ここで  $v_0 = 0$  とすると

$$P_1 = \frac{1}{1 + e^{-v_1}}$$

$v_1$ : 便がある時の 2 県間の関係式。

$v_0$ : 便がない時の 2 県間の関係式。

$$v_0 = 0$$

$$v_1 = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3$$

と書けることを仮定する。

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$  を推定する。この推定方法が、最尤推定法である。この結果  $\beta_1 = -0.0036, \beta_2 = -1.0632, \beta_3 = 0.0007$  となった。

この結果より、 $\beta_1$  は距離が遠いと確率が下がる。 $\beta_2$  は新幹線が有のある場合、確率が下がる。 $\beta_3$  は人口の積が大きい場合、確率が上がる。

しかし  $\beta_1$  は本来確率が上がるべきなのに下がったしまったため良い結果とは言えない。

## 8 路線の有無の確率の推定

最尤推定法の結果を用いて、以下の2つのことに着目していく。今までなかった路線を値が1に近いほど作成した方がよいという結果となるので、実際作成してみたら何人の旅客数が予想されるのだろうかといったことに関心がわいた。これをクリギングにて予想してみることにした。そして、今まであった路線にも関わらず、値が1から遠い場合作成する必要がないということです。

### 8.1 結果 1

最尤推定法の結果

都道府県ごとの組み合わせが 1 0 3 5

その中で空港があって路線がないのは 5 2 1

$P_1$  の確率が 0.55 以上で県庁所在地間が 300 km 以上で制限。

千葉-兵庫 = 0.674 (457.9 km)

茨城-愛知 = 0.563 (347.4 km)

茨城-大阪 = 0.512 (486.4 km)

これらをクリギングで旅客数の予測をしていく。

これら5つは路線がないにもかかわらず、路線を作成した方がよいという結果になった。これらをクリギングで旅客数の予測をしていく。

### 8.2 結果 2

北海道-岡山県 = 0.034

北海道-福岡県 = 0.047

岩手県-大阪府 = 0.050

岩手県-福岡県 = 0.010

これらは路線が既にあるにも関わらず、路線を作成しない方がいいという結果になった。

## 9 旅客人数予測

今研究で扱う沖縄等の離島を省いた北海道、本州、四国、九州のみの空港は63空港あり、路線数は151路線である。さらに主要空港である新千歳、羽田、大阪、福岡の4つの空港を省く。この理由として、地方の空港間の路線に焦点を当てたため。

### 9.1 既存路線の人数予測

予測値を求めるにあたってクリギング法が適切であるかを既存路線の旅客数を予測し、実値と比較することで調べてみた。まず、中部国際空港のみの便を図3に示す。

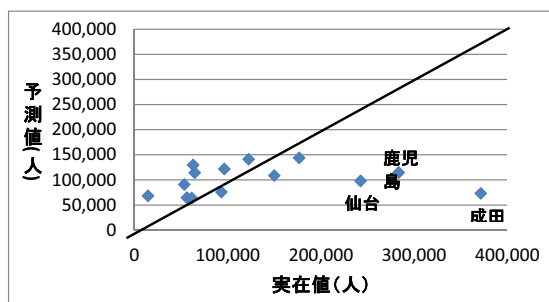


図 3 中部国際空港便

大幅に外れているのがいくつかあり、成田、鹿児島、仙台との路線である。次に全路線の予測値を出し、比較したものを図4に示す。

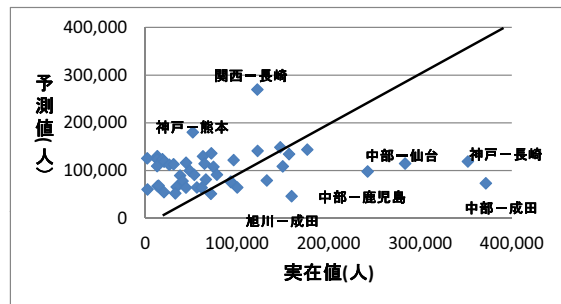


図 4 全便

図から、直線から大幅に外れている路線がいくつかあることがわかる。次に、全路線を比較した。グラフより、旅客人数の多くなるにつれて予測値が実在値に届いていない傾向にあることが読み取れる。予測値が外れてしまった理由として、予測する際の計算過程で使用する5つ分の路線の旅客人数の値が関係していると考えられる。使用した路線の旅客人数が多いと予測値大きくなり、旅客少ないと予測値小さくなってしまいう結果となってしまう。

### 9.2 パラメータの推定

151路線のデータを元にしてパラメータを推定し、バリオグラム関数を定める。データから得た値をグラフ化する。

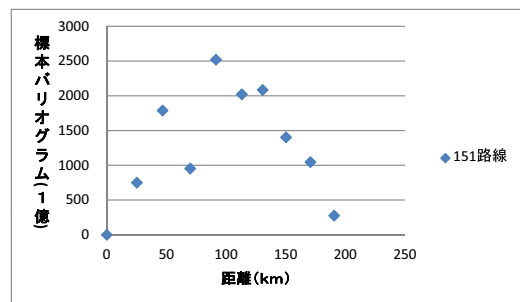


図 5 151 路線分から得たデータ

ここから、バリオグラム関数を推定したものを図6に表す。

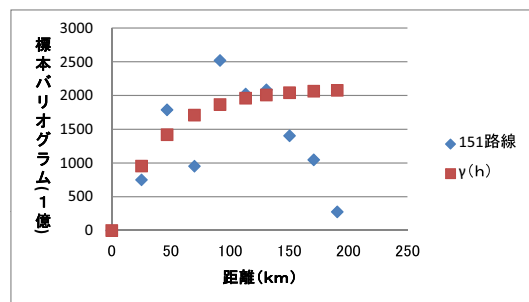


図 6 推定した関数

推定したパラメータの値は次のよう表1になる。

表 1 推定したパラメータの値

$(h)$	$(1 - \exp(-h/))$
	41
	2098694676218

これよりパラメータが推定され、バリオグラム関数が定められた。この関数を使い、旅客人数を予測していく。

### 9.3 推定したバリオグラム関数へ当てはめ

例として成田空港と神戸空港を挙げて予測する。まず 4 空港を省いた 46 路線の中で路線間距離差が小さいベスト 5 を取り出す。理由として、旅客人数の傾向の似ているデータを扱うためである。

取り出した 5 の路線を表 2 に表す。

表 2 路線間距離差の小さいベスト 5

空港 1	空港 2	距離差 (km)
成 田	中 部	124.8
成 田	小 松	239.5
成 田	神 戸	271.0
成 田	関 西	272.8
茨 城	神 戸	315.6

この路線の距離差から、重み係数を求める。そして最後に線形結合  $\sum_{i=1}^n w_i Z(x_i)$  より 5 つの路線の旅客人数と重み係数をそれぞれ掛け合わせ、合計を出す。計算結果を次の表 3 に示す。

表 3 距離差が小さいベスト 5

n	空港 1	空港 2	$Z(x_i)$	$w_i$	$w_i Z(x_i)$	$\sum_{i=1}^n w_i Z(x_i)$
1	成 田	中 部	371546	0.30	6233.7	166096
2	成 田	小 松	44368	0.26	8625.2	
3	成 田	神 戸	30748	0.10	40116.7	
4	成 田	関 西	100220	0.17	10943.1	
5	茨 城	神 戸	132506	0.19	7239.1	

この結果が旅客人数の予測値となる。よって成田空港と神戸空港間旅客人数は 166096 人と予測された。同様にして、ロジット回帰分析によって定めた他の 2 路線も求め、結果を表 4 に示す。

予測した 3 路線を、存在している 46 路線に加えた 49 路線を旅客人数でランク付けしたものを表 5 に示す。

表 5 より、3 路線とも上位になっていることがわかる。この結果より、新規に路線を設置する価値は充分にあると考えられる。

### 9.4 フジドリームエアラインズ

フジドリームエアラインズが 2015 年 3 月 29 日より、名古屋小牧空港から北九州空港と出雲空港の 2 路線を開設する。この 2 路線はかつて運航していたが、日本航空の経営悪化により平成 18 年に撤退した。しかし LCC の発達

表 4 予測結果

空港 1	空港 2	予測値
成 田	神 戸	166096
茨 城	中 部	229148
茨 城	関 西	137707

表 5 旅客人数ランキング

空港 1	空港 2	予測値
1	成 田 中 部	166096
2	茨 城 長 崎	229148
:	:	:
5	茨 城 中 部	137707
:	:	:
7	成 田 神 戸	166096
:	:	:
12	茨 城 関 西	229148
:	:	:
48	函 館 旭 川	229148
49	茨 城 鹿 児 島	137707

により経営が回復してきたため復活したと考えられている。この 2 路線も予測値を出してみた。

表 6 予測結果

空港	ニュース推定値	予測値
北九州	75000	94538
出 雲	35000	82472

## 10 おわりに

既存路線の予測値を実在値と比較した結果より、的確に予測出来たとは言えないので今後の課題としてはクリギング法よりも最適な技法を見つきたい。

## 11 参考文献

- [1] 間瀬茂：『地球統計学とクリギング法 R と geoR によるデータ解析』。
- [2] 国土交通省：  
『航空輸送統計調査の国内定期航空港間旅客流動表』  
[http://www.mlit.go.jp/koku/15\\_bf\\_000235.html](http://www.mlit.go.jp/koku/15_bf_000235.html)
- [3] 格安航空会社 LCC ガイド  
<http://lcc-airline.com/>