

# 気象が航空に与える影響に関する研究

関本 稀美<sup>1</sup>・室町 泰徳<sup>2</sup>

<sup>1</sup>非会員 一般財団法人計量計画研究所 環境・資源研究室 (〒1162-0845 新宿区市谷本村町2-9)  
E-mail: msekimoto@ibs.or.jp

<sup>2</sup>正会員 東京工業大学環境・社会理工学院土木・環境工学系  
(〒226-8502 横浜市緑区長津田町4259 G3-5)  
E-mail: muromachi.y.aa@m.titech.ac.jp

気候変動に関する政府間パネルの報告書によると、地球温暖化が進行していることに疑いの余地は無く、これらの影響が、航空を含む多様な交通システムに及ぶという懸念がある。このような背景から、本研究では気象が航空に与える影響に関して検討する。

気象が航空に与える影響には未知な部分が多く、長期的な気候変動の影響も含めて、この点を対象とした研究は非常に少ない。本研究では日本の航空を対象として、どのような気象条件が航空の遅延・欠航などを発生させているかを明らかにすることを目的とする。気象と航空との関係についての基礎的分析の後、欠航便の発生を被説明変数とするロジットモデルの推定を行った。説明変数は発着時の気象値である。推定された欠航便の発生モデルから、降水量、風速の増加は欠航便の発生する確率を高め、気温の増加は欠航率を下げるという結果を得た。

**Key Words : Aviation, Weather, Impact**

## 1. 序論

日本における航空は、500km以上の距離帯では機関分担率が高く、長距離移動の重要なモードの1つとなっている<sup>1)</sup>。アメリカ航空局の統計によると、悪天候を直接的な原因とする遅延は全体の約1%であるが、悪天候のために折返し便の遅延・欠航などが生じて出発機材が調達できないなど間接的な原因となる場合を含めると、約30%を占めている<sup>2)</sup>。

また、長期的な視点で見れば、気候変動は国際的に大きな関心を向けられている問題であり、その影響に対する緩和や適応に関して様々な議論が行われている。気候変動に関する政府間パネル<sup>3)</sup>の報告書によると、1906～2005年までの100年間で世界の平均気温は0.74℃上昇、20世紀の100年間で世界の平均海面水位は17cm上昇しており、地球の気候の温暖化が進行していることに疑いの余地は無い。また、今後も温暖化により海面水位の上昇がおき、陸上の多くで極端な高温の頻度が増加し、極端な降雨がより強く高頻度となる可能性が非常に高いと予測されている。Kimotoら<sup>4)</sup>によると、日本付近においても、2100年までに夏季の降水量が増加し、冬季の降水量

は北海道を除き減少する。また、無降雨日と20mm/日以上の上の強雨は増加する一方で、0～20mmの弱雨は減少すると予測されている。よって、近年増加しているゲリラ豪雨のような極端な気象は今後も増加し、現在の亜熱帯の気候のように短時間の豪雨を繰り返すケースも増加すると考えられる。

これらの影響は、農水産業、自然生態系をはじめ、健康、都市生活、防災、都市環境と多岐に渡り、自然環境から人間社会にまで及ぶ。航空を含む多様な交通システムもまた、少なからず影響をうけることが懸念される。

## 2. 既往研究

気象が航空に与える影響に関して、坂下ら<sup>5)</sup>は、羽田空港における航空遅延の要因を検討し、気象については、風速・風向き、偏西風、降水量、大雪による影響を指摘している。特に羽田空港では南西風が風速5m以上のとき、半数以上の便で5分以上の遅延が発生しているが、これは南西風が羽田空港では横風となるためと考えられる。

Eadsら<sup>6)</sup>は夏季の視認性の低さと冬季の吹雪は航空の大幅な遅延と欠航を導き、良好な天気と比較して、午前中の悪天候はキャンセル率を2-3倍に、全日では3-4倍に増加させるとしている。Kulesaら<sup>7)</sup>は、アメリカの航空における天候に関連した事故損害、障害、遅延、想定外の経費は年間30億ドルに達すると推定している。さらに、Koetse<sup>8)</sup>らは、気候変動や気象が交通に与える影響に関して既存の研究の包括的なレビューを行っており、気候変動が航空に与える得る影響についても整理している。酷暑や熱波の増加と豪雨の増加が非常に高い可能性で起こる一方で、それらの影響の程度は地域ごとに異なり、交通システムへの影響も同様であるとしている。

### 3. 研究の目的

以上の既往研究によれば、気象が航空に与える影響には未知な部分が多く、長期的な気候変動の影響も含めて、この点を対象とした研究は非常に少ない。このことから、本研究では、長期的な気候変動が航空に与える影響について整理を行い、日本の航空を対象として、どのような気象条件が航空の遅延・欠航などを発生させているかを明らかにすることを目的とする。

### 4. 気候変動が航空に与える影響

気候変動が航空へ与える考え得る影響を図-1にまとめる。航空への影響要因としては、気温、海水温の上昇による大雨・短時間豪雨の増加や強い台風の増加が挙げられる。それら要因が航空に与える影響としては視程障害による出発・到着の遅延・欠航、横風制限を超える強風による出発・到着の遅延、欠航、横風制限を超える強風による出発・到着の遅延、欠航、機体損傷、乗員・乗客の死傷(安全性の低下)、空港施設に関する影響(ランドサイド施設への被害、舗装やコンクリート施設における熱に関連する劣化や歪み)といった主に運用面に対する影響が

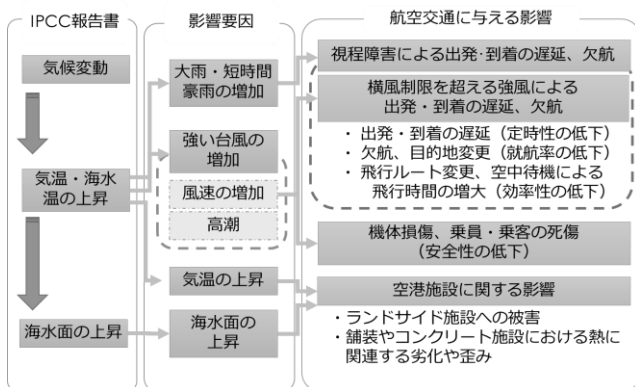


図-1 気候変動が航空へ与える影響

懸念される。また、強風の増加、気温の上昇、海水面の上昇は機体損傷の他、ランドサイドへの被害、舗装等の熱による劣化や歪みといった空港施設に対する影響が予想される。

これらはいずれも定性的なものであり、必要な適応策を講じるためには、将来の気候変動の影響を定量的に評価する必要がある。

## 5. 気象が航空に与える影響

### (1) 使用データ

本章では現在の気象が航空に与える影響について定量的に検討する。分析には、航空交通データとして、就航率改善調査運航記録原簿データ、気象データとして、気象庁のアメダスによる観測値を使用する。就航率改善調査運航記録原簿データは、平成22年度、平成23年度の2年分の運航を分析の対象とする。対象空港は全国78の空港とした。内訳は拠点空港28箇所、地方管理空港44箇所、共用飛行場6箇所である。航空交通データは、各空港に発着した航空機の属性、発着日時、遅延・欠航した際の原因で構成されている。気象データは、全国のアメダス観測地点で記録された1時間毎の気象値であり、気温、降水量、風向風速から構成される。観測地点は全国に1300箇所存在し、各空港にも設置されている。一部設置されていない空港に関しては最も近い観測地点の値を使用した。

### (2) 使用データの基礎分析

表-1に平成22、23年度の全国、東京国際空港、新千歳空港、那覇空港の遅延・欠航・ダイバート便率、図-2に同欠航理由を示す。平成23年度のキャンセル便は航空機全発着の約2%であるが、その原因の約28%が天候不良に関するものである。本データにおいては「出発地・目的地天候不良」は天候が直接的な欠航要因となっているもののみが集計されているが、前便が天候不良により欠航した結果、機材繰りが困難になることも考えられる。そのため、機材繰りによる欠航便のうち出発地・目的地の天候不良の影響を受けているものを抽出した。具体的には、折り返し便を想定し、出発地・目的地天候不良による欠航が発生してから24時間以内に機材繰りによる欠航が発生した便のうち、航空機の機体登録番号、型式、運航者が同一であるものを抽出した。データが欠損している場合や、経由地がある場合は除外している。結果とし

表-1 遅延・欠航・ダイバート便率

		発着数 (便)	出発 遅延	到着 遅延	欠航	ダイバ ート
H22	全国	1561018	5.5%	1.9%	1.5%	0.1%
	新千歳	106576	7.2%	2.8%	1.4%	0.1%
	羽田	328377	8.2%	2.3%	0.8%	0.0%
	那覇	101997	6.9%	2.3%	1.0%	0.0%
H23	全国	1583056	5.9%	2.1%	1.9%	0.1%
	新千歳	108353	7.7%	3.3%	1.7%	0.1%
	羽田	349902	7.5%	2.2%	1.2%	0.1%
	那覇	109027	7.8%	2.5%	1.6%	0.1%

表-2 風向と欠航率(平成 23 度 出発地天候不良)

	正面 (-22.5→22.5, 157.5-202.5)			45 (22.5-67.5,112.5-157.5 202.5-247.5,292.5-337.5)			横風 (67.5-112.5, 247.5-292.5)		
	欠航	運航	欠航率	欠航	運航	欠航率	欠航	運航	欠航率
0-5	514	403874	0.13%	419	578222	0.07%	182	241359	0.08%
5-10	166	151715	0.11%	279	163062	0.17%	138	34081	0.40%
10-15	75	12586	0.60%	575	16287	3.53%	125	3225	3.88%
15-	61	553	11.0%	567	675	84.0%	50	173	28.9%
合計	569544(35.4%)			760086(47.2%)			279333(17.4%)		

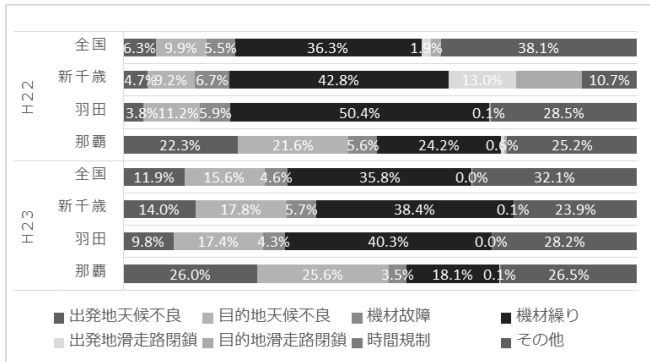


図-2 遅延・欠航・ダイバート 理由

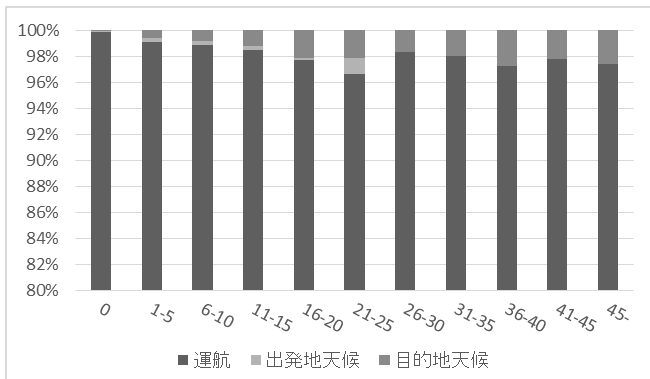


図-3 平成 23 年度 降水量と欠航率

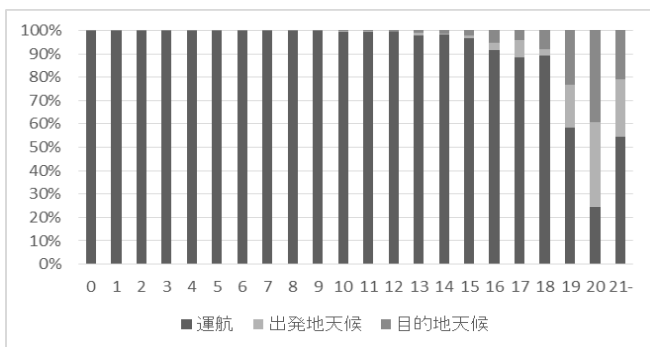


図-4 平成 23 年度 風速と欠航率

て平成22年では機材繰りの総数4231便のうち602便(14.2%)、平成23年では5325便のうち289便(5.4%)に天候の影響が確認できた。欠航便の全体比では平成22年度で21.4%、平成23年度で29.4%が少なくとも悪天候の影響で欠航している結果となった。

(3) 欠航便発生時の気象条件

次に、欠航便のうち出発地・目的地の天候不良により欠航した便を対象に航空機発着時の気象条件について検討を行う。降水量に関しては増加すると共に欠航率が上昇し、1時間雨量が15mmを超えると欠航率が2%に達する(図-3)。風速に関しては風速15m/sを超えると欠航率が増加し始め20m/s以上では半数以上が欠航している(図-4)。また、風向きに関しては各空港滑走路の向きと風向きとの差をとり前後方向、斜め方向、横方向の3方向で風速ごとに集計を行った。どの方向においても風速が上がるごとに欠航率は上昇するが、風速ごとに見てみると風速5m/s以上では、正面、斜め方向よりも横風のほうが欠航率が高くなっており、横風の影響が見て取れる(表-2)。さらに、風が全方向に満遍なく吹いていると仮定すると、風向きの構成比は1対2対1となるはずであるが、集計結果をみてみると、前方向35.4%、斜め方向47.2%、横方向17.4%となっている。これは、空港設計段階において、建設地の風向きを調査し、風向きが滑走路と平行になる確率が高くなるように考慮されているためと考えられる。

(4) 欠航便発生を被説明変数とするロジットモデルの推定

気象の影響を受け欠航便が発生する条件について定量的に明らかにする目的から、欠航便の発生を被説明変数とするロジットモデルの推定を行った。被説明変数は、出発地天候不良による欠航便の発生を表すダミー変数と、目的地天候不良における同ダミー変数である。説明変数はモデルごとに設定するが、運航便は欠航便が発生した24時間前に遡り運航しているもののみを抽出し、それ以

外は運航便、欠航便ともに除外している。その上で、各ケースに関して、1時間以内の気象値を説明変数の値とした。

気象条件に関する基礎分析より、降水量が増加するとともに欠航便も増加していること、風速に関して、機体（滑走路）に対する風向きが重要であることが示された。そこで、説明変数には降水量、正面、斜め方向、横方向からの風速を与える。更に気温が氷点下かつ降水がある場合、降雪していると仮定し、降雪の変数を設定した。降水量が増加するほど積雪は多くなることから値は降水量と同じ値を使用し、降水があった場合でも気温が0度以上である場合は値を0とした。推定結果を表-3に示す。各変数のt値は有意な値を示している。降水量、風速の増加は欠航便の発生する確率を高める結果となり、一般的な知見と一致している。

風向きに関する係数を見ると、平成23年出発地天候不良を除き大きいほうから横方向、正面、斜め方向の順となっており、強い横風の影響を受けやすいことが示された。出発地天候不良が原因であるものと目的地天候不良が原因であるものを比較すると目的地天候不良が原因となっているものの方が相対的に精度が低い。これは目的地が天候不良である場合、欠航の可否を判断する時間と目的地の気象情報が与えられる時間の間のタイムラグがより大きいためであると考えられる。

## 6. 結論と今後の課題

本研究では、長期的な気候変動が航空に与える影響について整理した上で、どのような気象条件が航空の欠航などを発生させているかを検討した。推定された欠航便の発生モデルからは、降水量、風速の増加は欠航便の発生する確率を高めるという結果を得た。

今後の課題としては、モデルの精度向上のため、更に細かな地域の分類や、季節ごと検討などが必要であると考えられる。更に、欠航の決定には気象条件だけでなく、機材繰りや採算性など運用面も関連していると推測でき、今後気候変動が進む中で、どのように適応していくか、具体的な対策の検討も課題であると考えられる。

なお、本研究は科学研究費基盤研究（B）「統合型GHG排出量推計モデルによるアジア圏域における気候変動適応型国際航空政策の評価」の補助を得ている。謹んで謝意を表したい。

表-3 欠航便発生ロジットモデル推計結果(モデル2)

		H22				H23			
		出発地 天候不良		目的地 天候不良		出発地 天候不良		目的地 天候不良	
		係数	t値	係数	t値	係数	t値	係数	t値
降水量		0.442	7.243	0.206	8.290	0.165	9.340	0.209	13.045
風向き	正面	0.166	12.066	0.123	12.395	0.216	20.779	0.190	21.943
	45度方向	0.114	9.731	0.079	8.226	0.176	23.890	0.169	26.055
	横	0.229	7.499	0.141	7.928	0.186	17.106	0.203	19.472
降雪		3.157	4.348	1.326	6.153	4.363	9.529	2.972	12.559
定数項		-1.365	-12.992	-0.924	-12.807	-2.145	-27.693	-1.872	-30.386
サンプル数		1932		3248		4810		6810	
初期尤度		-1338.47		-2251.34		-3334.04		-4720.33	
最終尤度		-1136.92		-2057.88		-2511.46		-3764.23	
尤度比		0.151		0.086		0.247		0.203	

## 参考文献

- 1) 2010年 全国幹線旅客純流動調査
- 2) United States Department of Transportation Office of The Assistant Secretary For Research And Technology
- 3) IPCC, 気候変動に関する政府間パネル第5次評価報告書
- 4) Kimoto, Projected Changes in Precipitation Characteristics around Japan under the Global Warming ; SOLA, 2005, Vol.1 1, 085-088
- 5) 坂下文規・森地茂・日比野直彦, 羽田空港における航空遅延に関する研究, 第96回 運輸政策コロキウム, 2009
- 6) Eads, G.C., Kiefer, M., Mendiratta, S., McKnight, P., Laing, E., & Kemp, M.A. (2000). Reducing weather related delays and cancellations at san francisco international airport ,CRA Report No. D01868-00,2000
- 7) Kulesa., Weather and aviation: how does weather affect the safety and operations of airports and aviation, and how does FAA work to manage weather-related effects?, USDOT, 2002
- 8) Koetse Mark J. Piet Rietveld, The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings Transportation Research Part D 14 (2009) 205-221

## THE IMPACT OF EXTREME WEATHER ON AIR TRANSPORT

Maremi SEKIMOTO and Yasunori MUROMACHI

While the impact of extreme weather on transport system is expected to be significant as climate change proceeds, the number of preceding studies concerning weather and air transport is not large. In this study, after reviewing the preceding studies, we analyzed the relationship between the air transport data including cancellation of flights caused by bad weather and the weather data obtained from the nearest monitoring station to the relevant airport.

According to the analytical results, bad weather was estimated to cause 21.4% of the cancellations of flights in 2010 and 29.4% in 2011. We also estimated the model the dependent variable of which is dummy variable indicating flight cancellation, and the independent variables are hourly weather condition such as temperature, precipitation, and wind direction and speed. According to the results, precipitation and wind speed are found to increase the probability of generating flight cancellation, and decrease in temperature is found to decrease the probability.