

## 地球温暖化がプロ野球における屋外試合の観客数に及ぼす影響の予測

## Prediction of the impact of global warming on spectator numbers at outdoor baseball games

中口 毅博\*

Takahiro NAKAGUCHI

**要旨：**本研究は屋外球場であるプロ野球6球団を対象にし、地球温暖化が屋外試合の観客数の変動に影響を及ぼすかどうかを検証したものである。6球団の2005年～2009年における試合の観客数を目的変数とし、気温、降水量、曜日、対戦球団、夏休み期間中か否かの5要因を説明変数とした数量化I類分析を行った結果、ヤクルト、横浜の2球団では特に強い相関関係がみられ、他の球団も相関関係がみられた。次に気象庁が予測した地球温暖化予測モデルRCM-20を用いて20031～2051年および2081年～2100年の気温と降水量を数量化I類分析から得た関数式に代入して観客数を予測したところ、すべての球団において将来の観客数は減少し、平均で1～9%、最大で10%減少することが明らかになった。

**キーワード：**地球温暖化、温暖化影響予測、プロ野球、観客数

**Abstract：** This paper examines the effect of global warming on the number of spectators at outdoor baseball games by observing the games of six professional teams. An analysis using Quantification Method Type I with the spectator numbers of the games from 2005-2009 played by the six teams as objective variables and the five factors of temperature, precipitation, the day of week, opponent team and if it was during the summer holidays as explanatory variables. Indeed, global warming showed strong correlations with Yakult, two Yokohama teams, and other teams as well. The temperatures and precipitations during 2031-2051 and 2081-2100 were obtained by substituting RCM-20, a global warming prediction model developed by the Japan Meteorological Agency, into the function formulas obtained from the analysis using Quantification Method Type I. As a result, it was estimated that the numbers of future spectators of all baseball teams will reduce by 1-9% in average and 10% at a maximum.

**Key Words：** Global warming, prediction of impact of global warming, professional baseball and number of spectators

## はじめに (INTRODUCTION)

現在、地球温暖化が深刻になっている。気候変動に関する政府間パネルの報告では2100年までに地球の気温は1.4～5.8℃上昇すると予測している。気象庁によると日本は2100年に夏の日平均気温は4.2℃上昇し、真夏日の日数も約70日増加すると示されている。夏の降水量に関しては約20%増加すると予測されている(環境省、2009)。

一方、地球温暖化が原因と思われる近年の異常気象は、生物の生態系への影響、自然環境の変化、健康被害に加え、農林水産業、観光産業など産業界へさまざまな影響を及ぼしている(環境省、2009)。これらの影響については、気象庁などが開発した温暖化気候予測モデルで予測された将来の気象条件に基づき、これらへの影響を予測する研究がいくつかみられる(杉浦・横沢、2004、増沢、2005、和田、2006、田中・松井、2006、中村・多田ほか、

2008)。

また、屋外スポーツに対する影響も懸念される場所であり、これらへの影響を予測することは重要である。中口(2010)は、地球温暖化によるスキー場の将来積雪量の変化と滑走可能日数の変化を、気象庁のIPCCのA2シナリオに沿った地球温暖化予測モデルRCM20を用いて予測し、積雪量の減少によって滑走可能日数が3分の1から6分の1に減少することを明らかにしている。しかし、プロスポーツにおいては入場料収入が大きな割合を占めることから、入場者数や観客数の増減を予測することが重要である。

特にプロ野球は、気温が上昇することで暑い中での試合機会も多くなり、観戦を敬遠したり、観戦客の健康への悪影響が心配される。また降水量が増加することで雨の中の試合を余儀なくされたり、試合が中止になることで、観客数の減少が心配される。

そこで本研究では本拠地が屋外球場であるプロ野球 6 球団を対象にし、地球温暖化が屋外試合の観客数の変動に影響を及ぼす度合いについて予測することを目的とする。

### 1. 研究の方法 (METHODS)

まず、屋外球場を本拠地としているヤクルト、阪神、広島、横浜、楽天、ロッテの 6 球団について、2005 年～2009 年の過去 5 年間に本拠地で行われた試合の基礎データを収集する。具体的には、試合の行われた日ごとの観客数、曜日、対戦球団を整理した。次に試合が行われた日の平均気温と降水量を、球場に最も近いアメダス気象観測地点の情報から抽出する。以上のデータを用い、観客数を目的変数、気温や降水量、曜日、対戦球団などを説明変数とする数量化 I 類分析を行い、観客数と気象条件との関連性を明らかにする。

次に、気象庁気象研究所が開発した水平解像度 20km の高解像度の地域気候モデル (MRI-RCM20、以下 RCM20 と称する) を用いて、IPCC の A2 シナリオ (経済重視で地域志向が強まると仮定したシナリオ) に基づき、地球温暖化が進んだ場合の各球場の気象条件を予測する。RCM20 は日本を 109×109 のメッシュに区切って 2031～2050 年、2081～2100 年の気象を日ごとに予測したものである (気象庁、2005a)。そこで図 1 に示すような各球場の位置情報から RCM20 上のどのメッシュに含まれるかを特定し、各球場の日別平均気温と降水量を予測する。

最後に 2005 年～2009 年の数量化 I 類分析から得た関数式に、RCM20 から得た温暖化予測データの気温、降水量を代入し、将来の観客数を推計し、現状との増減を比較する。また 1 人あたりの単価を乗じることにより、入場料収入の増減を予測する。



図 1 各球団の位置

表 1 本拠地の試合における 1 試合の平均観客数 (人)

チーム	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年
ヤクルト	18,099	18,694	18,806	17,918	18,493
阪神	46,612	46,364	45,741	42,959	44,582
広島	16,203	14,711	16,067	20,088	26,716
横浜	14,187	15,288	16,745	15,869	16,726
楽天	14,671	15,448	16,147	16,359	16,923
ロッテ	19,403	20,009	20,885	22,329	21,680

表 2 数量化 I 類に用いた説明変数

アイテム	カテゴリー
①曜日	月曜日、火曜日、水曜日、木曜日、金曜日、土曜日、日曜日
②対戦球団	ロッテ、オリックス、日本ハム、ソフトバンク、西武、楽天、巨人、中日、阪神、ヤクルト、広島、横浜
③夏休み期間中か否か	7月20日～8月31日かそれ以外の日
④気温	0℃～10℃未満、10℃～15℃未満、15℃～20℃未満、20℃～25℃未満、25℃～30℃未満、30℃以上
⑤降水量	0mm、0.1mm～1mm未満、1mm～5mm未満、5mm～10mm未満、10mm～30mm未満、30mm以上

表 3 数量化 I 類による球団別の重相関係数

球団	サンプル数 (本拠地での試合数)	決定係数	重相関係数
ヤクルト	332	0.72	0.85
阪神	299	0.64	0.80
広島	329	0.45	0.67
横浜	281	0.44	0.66
楽天	333	0.30	0.55
ロッテ	350	0.27	0.52

## 2. 結果 (RESULTS)

### 2. 1 数量化 I 類による観客数の変動要因

目的変数を観客数とし、曜日、対戦球団、夏休み期間中か否か、気温、降水量の 5 要因を説明変数とした数量化 I 類分析を行った。説明変数 (アイテム) ごとのカテゴリーは表 2 に示したとおりである。分析に投入するサンプルは 2005 年～2009 年に本拠地で開催された全試合であり、表 3 に示すとおり 281～350 である。

数量化 I 類分析を行った結果、各球団の決定係数および重相関係数を表 3 に示すようになった。重相関係数はヤクルトが 0.85 と最も高くなっており、観客数と最も強い関係がある。ロッテが 0.52 と一番小さな値を示しているが、統計的には有意な因果関係が存在する。

球団の 5 つの説明変数のカテゴリースコアから求めたレンジを表 4 に示す。カテゴリースコアとは、重回帰分

表4 球団別のアイテム・レンジ

球団	曜日	対戦球団	夏休みか否か	気温	降水量
ヤクルト	8,305	13,042	1,290	1,376	3,369
横浜	7,597	10,003	2,210	5,072	5,472
楽天	4,436	6,182	516	4,633	990
ロッテ	8,316	9,001	3,335	2,511	3,886
阪神	3,822	3,818	829	2,129	1,436
広島	6,029	9,050	1,309	4,032	2,669

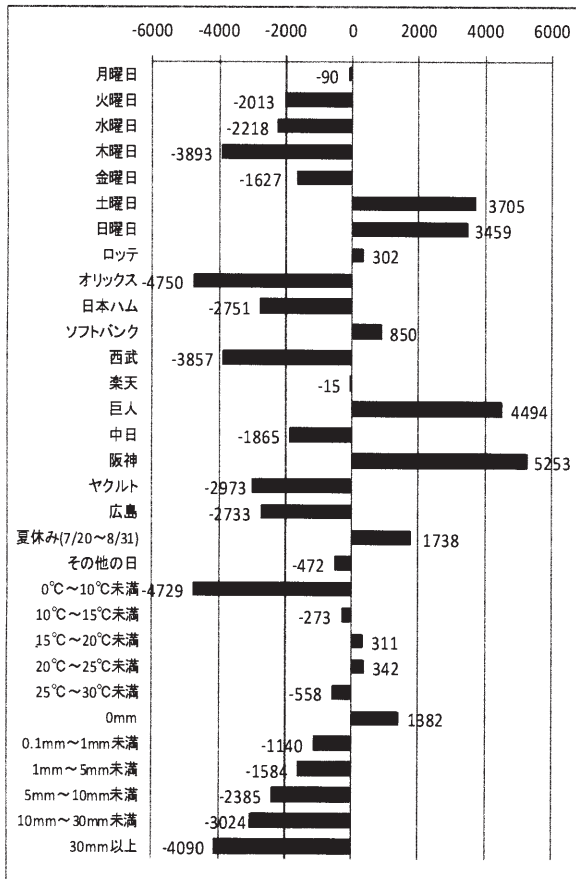


図2 横浜のカテゴリースコア

析の回帰係数に相当するものであり、レンジとは最大カテゴリースコアから最小カテゴリースコアを引いた値のことである。カテゴリースコアやレンジの値が大きいほど、その説明変数(要因)は目的変数(観客数)に大きな影響を与えていることを意味する。

観客数への影響力が一番大きいのは阪神以外では対戦球団であり、次に曜日が大きくなっている。夏休み期間(7月20日~8月31日)か否かの要因も楽天・阪神以外では影響が大きくなっている。気温と降水量についても一定程度の大きさのレンジを示しており、観客数へかなりの影響を与えていると言える。

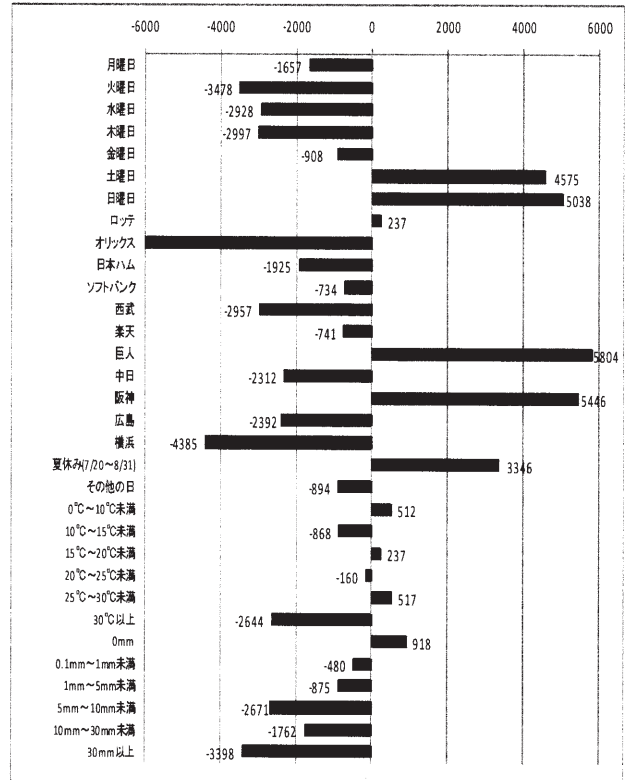


図3 ヤクルトのカテゴリースコア

## 2.2 変動要因の詳細—横浜とヤクルトの例

ここでは、重相関係数の大きい横浜とヤクルトについての各要因の影響の及ぼし方についてカテゴリースコアを見ることによって確認する。

図2は横浜ベイスターズのカテゴリースコアである。プラスの大きな値を示しているほど、観客数を増加させる要因として働いていることを示している。例えば、曜日が土曜日や日曜日、対戦球団が阪神や巨人、夏休み期間中、気温が15℃~25℃、降水量が0mmの各条件がそろった場合は観客数が増えることがわかる。逆に木曜日、オリックスや西武、夏休み以外、10℃未満、30mm以上で試合が開催された場合は観客数が最も少なくなることがわかる。気温についてみると、気温が低いときには観客数が少なくなる傾向にあるとともに、25℃~30℃と高温になると観客数が減少する(30℃以上はサンプルなし)。また降水量についてみると、降水量が増えるほど観客数が減少する傾向がみられる。

図3はヤクルトのカテゴリースコアである。曜日が土曜日か日曜日、対戦球団が巨人か阪神、夏休み、降水量が0mmの各条件がそろった場合は観客数が最も多くなる。逆に火曜日、オリックス、夏休み以外、30mm以上で試合が開催された場合は観客数が最も少なくなることがわかる。また、気温が30℃以上になると観客数が減少する。

表5 球団別平均気温の実測値と予測値の関係

球団	サンプル数	決定係数	相関係数
ヤクルト	140	0.85	0.92
阪神	140	0.84	0.92
広島	140	0.70	0.84
横浜	140	0.85	0.92
楽天	140	0.87	0.93
ロッテ	140	0.85	0.92

表6 球団別合計降水量の実測値と予測値の関係

球団	サンプル数	決定係数	相関係数
ヤクルト	140	0.02	0.14
阪神	140	0.01	0.10
広島	140	0.07	0.26
横浜	140	0.01	0.10
楽天	140	0.02	0.15
ロッテ	140	0.02	0.13

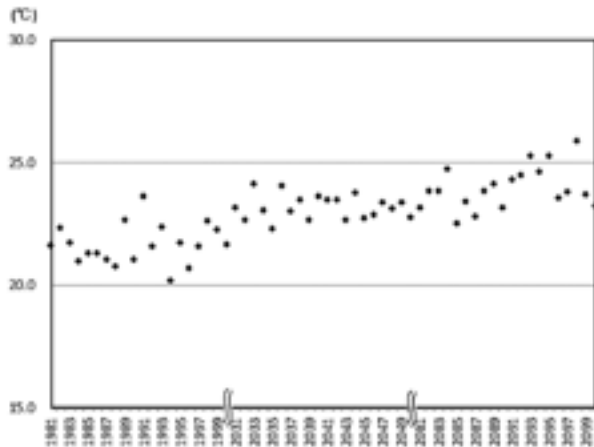


図4 RCM20による横浜の年別平均気温の予測値

2.3 各球場の平均気温と降水量の将来予測

ここでは、将来温暖化が進んだ場合の6つの屋外球場の気温と降水量を予測する。気象庁のRCM20では、1981～2000年、2031～2050年、2081～2100年の各種気象要素について予測されているので(気象庁、2009b)、球場ごとにRCM20上の位置を特定し、当該データから日別平均気温と降水量の予測値を抽出した。

RCM20で予測した値が、実績値をどれくらい再現しているかを把握するため、球場ごとに1981～2000年のRCM20による予測値とアメダスの実測値を比較した。サンプル数は7ヶ月×20年間=140である。4月～10月の7ヶ月間のみを対象にした理由は、プロ野球の公式戦が開催される月であるためである。

まず、平均気温についてRCM20による予測値とアメダスの実測値の相関分析を行った結果を表5に示す。相関係数が0.84～0.93とRCM20が現状をよく再現していることが検証された。

図4はRCM20で予測された横浜の本拠地である横浜市(北緯:35.44, 東経:139.64)の各年別平均気温である。

これを見ると、RCM20の予測結果では年を経るに従って全体的に気温が上昇していくことがわかる。2098年が最大で、2093年、2095年と続いており、予測平均気温の上位3つが2090年代となり、地球温暖化の影響が予測される。

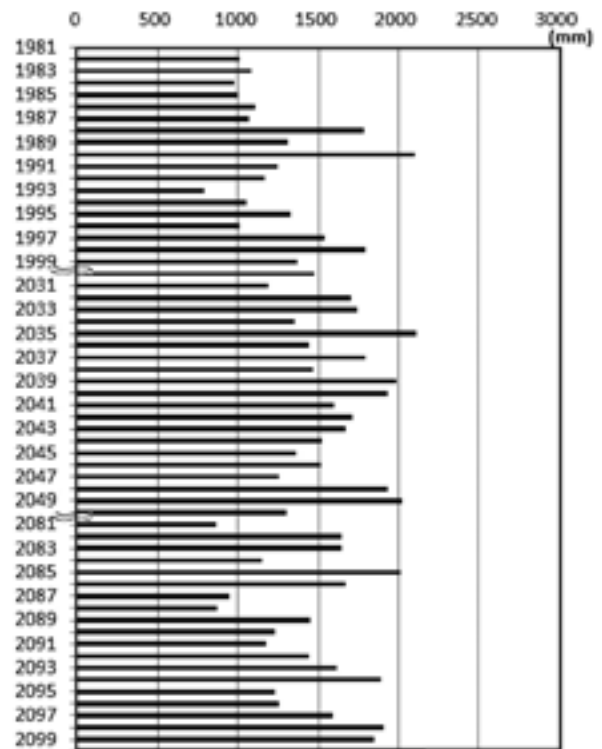


図5 RCM20による横浜の年別降水量の予測値

次に降水量について、RCM20の予測結果とアメダスの実測値との相関分析を行ったところ、表6のようになった。平均気温と比べ、6球団とも相関係数は低い数値である。つまりRCM20による予測値は実際の観測値をうまく再現できていないこととなった。これは予測値と実測値がうまく再現されている日も多くあれば、予測値と実測値の誤差が激しい場合も多数あるためである。降水量の現状をよく再現できるように、RCM20の精度を向上することが今後の課題である。

図5はRCM20で予測された横浜の本拠地である横浜市の各年別4月～10月の合計降水量である。横浜市の予測合計降水量は2100年が最大で、次に2035、1990年と続く。横浜市では多く降る年は、ばらつきがあった。2031

～2050年間で降水量が多く降り、2081～2100年にかけても比較的降水量は多く、1981～2000年よりもおおむね降水量は増加すると予測された。

### 2. 4 将来の予測観客数の予測

2. 2で求めた球団ごとの数量化I類の関数式(カテゴリスコアの総和)にRCM20から求めた気温と降水量を代入して将来の観客数を予測する。

ただし将来の対戦相手、開催場所に関しては決まっていないため、将来も2009年度の日程と同じものと仮定して計算した。すなわち毎年同じ日に本拠地で試合が行われ、同じ相手と対戦することを条件として、2031～2050年、2081～2100年の観客数を予測した。

例えば、2031年4月7日の横浜の試合の条件は

- ・曜日は月曜日
- ・対戦球団は巨人
- ・夏休み期間でない
- ・RCM20で予測された平均気温は12.2℃、
- ・RCM20で予測された合計降水量は2.3mm

である。以上を代入して横浜スタジアムにおける観客数を導くと、以下の計算となる。

図2における横浜のカテゴリースコアから、

- ・月曜日→-90、
- ・巨人→+4,494、
- ・夏休み期間以外→-472、
- ・12.2℃→-980、
- ・2.3mm→-1,584、
- ・定数項→+16,320(数量化I類分析より得た定数項)

これらの総和は、 $0-472-90+4,494-980-1,584+16,320=17,688$  したがって、この条件で開催された場合の2031年4月7日の観客数は17,688人と予測される。

このようにして、6球団のすべての試合日についての観客数を予測し、年ごとに合計観客数や1試合あたりの平均観客数を求めた。

表7は、2005年～2009年の1試合あたり平均観客数の実績値と、2031年～2040年、2041年～2050年、2081年～2090年、2091年～2100年の10年ごとの1試合あたり平均観客数の予測値を示したものである。6球団全体では、現状に対し、1試合あたりおよそ1000人前後減少することがわかる。球団ごとの増減率をみると、楽天が-8.9%～-10.1%と1割も減少して最も影響があり、次いでヤクルト、横浜、ロッテも-4%～-6%と減少幅が大きい。広島も-4%～-5%の減少が予測されるが、阪神はあまり影響を受けないことがわかる。

例として、2031年～2050年、2081年～2100年の横浜の年別合計観客数の予測値を図6に表した。2009年度、

横浜が横浜スタジアムで開催した試合数は64試合であ

表7 各球団別の年間平均予測観客数と現状の年間平均観客数(単位：千人)

球団/年次	2005～2009年	2031～2040年	2041～2050年	2081～2090年	2091～2100年	
平均観客数	ヤクルト	18,402	17,290	17,126	17,559	17,360
	阪神	45,252	44,974	45,007	44,947	44,898
	広島	18,757	17,958	17,838	17,936	18,024
	横浜	15,763	14,779	14,679	15,100	15,041
	楽天	15,910	14,424	14,300	14,470	14,489
	ロッテ	20,862	19,792	19,657	19,966	19,879
	全体	22,491	21,536	21,434	21,663	21,615
増減率	差	-	-955	-1,056	-828	-876
	ヤクルト	-	-6.0%	-6.9%	-4.6%	-5.7%
	阪神	-	-0.6%	-0.5%	-0.7%	-0.8%
	広島	-	-4.3%	-4.9%	-4.4%	-3.9%
	横浜	-	-6.2%	-6.9%	-4.2%	-4.6%
	楽天	-	-9.3%	-10.1%	-9.0%	-8.9%
	ロッテ	-	-5.1%	-5.8%	-4.3%	-4.7%
全体	-	-4.2%	-4.7%	-3.7%	-3.9%	

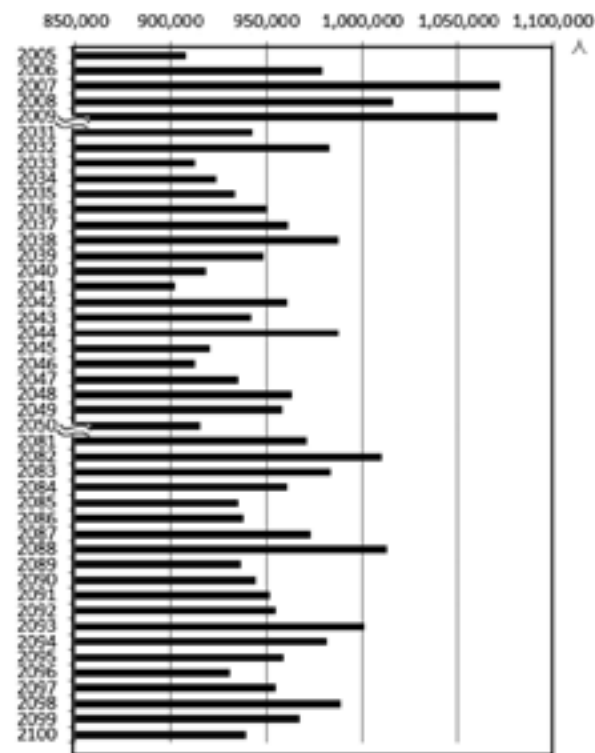


図6 横浜の年別合計観客数の予測値

表8 各球団別の平均年間入場料収入(単位:百万円)

球団/ 年次	2005~ 2009年	2031~ 2040年	2041~ 2050年	2081~ 2090年	2091~ 2100年
ヤクルト	6,266	5,887	5,831	5,979	5,911
阪神	13,175	13,095	13,104	13,087	13,073
広島	6,202	5,937	5,898	5,930	5,959
横浜	4,978	4,668	4,636	4,769	4,750
楽天	4,174	3,784	3,752	3,796	3,801
ロッテ	5,630	5,341	5,305	5,388	5,364
合計	40,425	38,712	38,526	38,950	38,859
差		-1,713	-1,899	-1,475	-1,566

ったため、各年64試合の合計観客数である。これをみると、2007年と2009年が105万人を超え、最近3年間は100万人を超えている。将来の観客数は年によってばらつきがみられるが、2031年~2050年は100万人を超える年は一度もないことがわかる。2081年~2100年についても、100万人を超える年は3回にとどまっていることがわかる。

さらに、各球団別の入場料収入の予測を行った。球団ごとの入場料収入については公開されていないため、セリーグ、パリーグ別の2007年の入場料収入と観客数(週刊ダイヤモンド、2008)から1人あたり客単価としてセリーグ4,935円、パリーグ3,748円を求め、これが将来も不変として各球団別の平均年間入場料収入を算出したものが表8である。これによると、6球団全体では過去5年間の平均で400億円を超える収入があったものが、将来は380億円台に落ち込み、14億円から19億円の減収になることがわかる。

### おわりに(CONCLUSIONS)

本研究では、本拠地が屋外球場であるプロ野球6球団を対象にし、地球温暖化が屋外試合の観客数の変動に影響を及ぼす度合いについて予測した結果、次のことが明らかになった。

6球団の2005年~2009年における試合の観客数を目的変数とし、気温、降水量、曜日、対戦球団、夏休み期間中か否かの5要因を説明変数とした数量化I類分析を行った結果、ヤクルト、横浜の2球団では特に強い相関関係がみられ、他の球団も有意な相関関係がみられた。

次に気象庁が予測した地球温暖化予測モデルRCM-20を用いて2031~2051年のおよび2081年~2100年の各

球団の本拠地の気温と降水量を予測した。1981年~2000年の実績値との相関関係をみたところ、気温については高い相関が得られたが、降水量については高い相関が得られなかった。

さらに数量化I類分析から得た関数式に気温や降水量を代入して観客数を予測したところ、すべての球団において将来の観客数は減少し、平均で1~9%、最大で10%減少し、それに伴い入場料収入も減少することが明らかになった。したがって地球温暖化の影響を最小限に防ぐよう、温室効果ガスの削減対策を進めるとともに、温暖化への対応策も進めることが必要と考えられる。

今後の課題としては、以下のことがあげられる。まず第1に、用いた気象予測モデルでは降水量の再現性が悪いため、再現性の高い気象予測モデルを採用することがあげられる。第2に、数量化I類による各要因と観客数の相関係数を上げるよう、モデルの改良を行う必要がある。第3に、今回の研究では気温と降水量以外の要因が不変と仮定して推計しているため、それらの変動も考慮して予測すべきと思われる。

### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、芝浦工業大学環境システム学科当時4年生の塚原将司君にはデータ解析などの作業に関し、全面的な協力を得た。ここに謝意を表す。

### 引用文献

- 杉浦俊彦, 横沢正幸(2004)年平均気温の変動から推定したリンゴおよびウンシュウミカンの栽培一環境に対する地球温暖化の影響。園芸学会雑誌, 73, 72~78.
- 増沢武弘(2005)高山帯における山岳地形と高山植物の分布—富士山・白馬岳・ハケ岳・アポイ岳—. 植物地理分類研究, 53(2), 131~137.
- 気象庁(2005a) 地球温暖化予測情報第6巻54pp.
- 気象庁(2005b) 地球温暖化予測情報第6巻RCM積雪量予測値。2008年気象庁提供ハードディスクデータ。
- 和田一範(2006)地球温暖化に伴う洪水・渇水リスクの評価に関する研究。地球環境, 11(1), 67~78.
- 田中信行・松井哲哉ほか(2006)天然林の分布を規定する気候要因と温暖化の影響予測:とくにブナ林について, 地球環境 11(1), 11-20.
- 中村和正・多田大嗣ほか(2008)北海道内の水田灌漑用ダムにおける将来の水収支の試算。寒地土木研究所月報, 667, 12-19
- 週刊ダイヤモンド(2008)徹底比較! プロ野球 vs Jリーグ 再構築迫られるビジネスモデル。8月2日号, ダイヤモンド社
- 環境省地球環境局(2009)地球温暖化の影響・適応情報資料集80pp.
- 中口毅博(2010)地球温暖化がスキー場の積雪量や滑走可能日数に及ぼす影響予測—気象庁RCM20予測を用いて。芝浦工大紀要人文系, 44-1, p71-76.

(2010年11月13日受付)