

気温・降水量変化がレジャー産業に及ぼす影響 -スキー場への影響予測事例-

Effect of ambient temperature and precipitation changes on leisure activities -in case of ski tourism-

藤森裕介*, 尾崎 則篤*, 福島 武彦*, 原沢英夫**

FUJIMORI Yuusuke, OZAKI Noriatsu, FUKUSHIMA Takehiko and HARASAWA Hideo

Abstract; In order to estimate the influences of ambient temperature and precipitation changes on ski tourism, changes of the numbers of ski tourist of seven ski fields corresponding to the climatic changes were investigated. Data on the daily numbers of ski tourist and the depth of snow at the one of the seven ski fields were collected, and the relationships of depth of snow and the number of ski tourist were analyzed statistically. The monthly numbers of ski tourist were collected for other six ski fields. Prior to discuss the number of ski tourist, the model for predicting the depth of snow was established and the depths of snow for six ski fields were calculated based on the mass budget of water and thermodynamics using the ambient temperature and precipitation data collected nationwide. The model for predicting the monthly number of the ski tourist were established based on the daily relationship of the the number of ski tourist and the depth of snow. From these models, the effects of temperature changes on the number of ski tourist were discussed.

Keywords; global warming, ambient temperature, precipitation, snow, ski tourism

1. はじめに

近年人間活動が活発化し、二酸化炭素などの排出量が急激に増加しているため、地球の温室効果が強まることにより、将来的には地球環境に大きな影響を及ぼすことが懸念されている¹⁾。現在その影響に関する研究が各方面で活発に進んでおり、自然環境に対して及ぼす様々な影響が明らかにされつつある。また、温暖化は社会や経済に対しても重大な影響を及ぼすと考えられる。その一つとして、温暖化を通してどのような水循環の変動が生じ、それが社会経済に対してどのような影響を与えるかについては水文学、環境工学の観点からの論文が比較的多数ある^{2)~8)}。筆者らも温暖化の水環境への影響を知ることを長期的な目標として、河川水温を初めとする様々な水質や水量が気温や降水量の変動に対してどのような変動特性を持つのかを既往のデータを用いて解析してきた⁹⁾¹⁰⁾。本研究では陸水の状態に直接影響を受ける社会的な活動の一つとして、特に冬の主要なレジャー活動であるスキー産業を選び、積雪変化による影響を調べた。

現在スキー産業に影響を与える因子を明らかにすることを目的とした研究としては、個別のスキー場を対象とし、その変遷を調べることによって、スキー客数に及ぼす影響や、スキー場がその地域の経済に及ぼす影響を調べる調査などがある^{11)~13)}。それらの研究からスキー客数に及ぼす影響因子として、立地、交通条件、平日や休日といったこと、また競合する近郊のスキー場の存在などが指摘されている。またスキー場がその近郊の住民に対して大きな雇用機会になっていることも明らかにされている。一方気象の影響については、積雪の影響が非常に大きいとされながらも、その影響に関しては必ずしも十分定量的に明らかにされているとは言い難い¹³⁾。そこで本研究では、冬期の気温、積雪量の変動がスキー客数にどのような影響を及ぼしているのかを定量的に解析し、また将来温暖化が生じた際どの程度の規模の影響が生じるのかを推測した。

2. 方法

2.1 用いたデータ

本研究では、東北地方6スキー場、近畿地方1スキー場の合計7つのスキー場の索道輸送人員のデータを東北索道協会及びスキー場より入手した。スキー場における冬の索道輸送人員とはいわゆるスキーリフトの輸送人員のことでありこれをスキー客数の指標とした。また、各地点にもっとも近接するAMeDASデータを入手した。AMeDASデータのうち本研究で用いたものは気温、降水量、風速、積雪深である。解析期間は1989~1996年度、Aスキー場のみは1995~1999年度である。これらのデータの詳細を表-1に示す。

Aスキー場に関しては、スキー場における日別積雪量を入手している。しかし他の東北のスキー場については日別値を入手していない。そこで最近傍のAMeDASデータより以下のように積雪深の推定を行った：まずスキー場の最近傍のAMeDASデータにより、気温、降水量、風速の関数として積雪深を予測するモデルを構

*広島大学大学院工学研究科 (Graduate School of Engineering, Hiroshima Univ.)

**国立環境研究所 (National Institute for Environmental Studies)

表-1 スキー場およびアメダスデータ

スキー場名 [*]	所在地 県名	データ内容	単位	アメダス 地点名	スキー場との 直線距離 (km)	高度差 (m)
八甲田スキー場	青森	月別輸送人員	千人	31482	4.5	71
大鰐スキー場	青森	月別輸送人員	千人	31646	8.5	260
雫石スキー場	岩手	月別輸送人員	千人	33421	6.0	735
リゾートパークオニコウベスキー場	宮城	月別輸送人員	千人	34096	8.0	590
猪苗代スキー場	福島	月別輸送人員	千人	36276	1.0	29
会津高原たかつえスキー場	福島	月別輸送人員	千人	36641	14.5	137
Aスキー場	滋賀	日別輸送人員	人	52381	12.0	785

^{*}本文にスキー場を記載する際にはゴシック部のみを略称として示した。

築した。次にそのモデルに基づき、スキー場の積雪深を推定した。推定に際しては気温のみが標高の違いに応じて異なるとし、降水量、風速は対応する最近傍のAMeDAS地点に等しいと仮定した。気温の推定には、一般的な大気の大気湿度の減率 $0.65(^{\circ}\text{C}/100\text{m})$ を用いた¹⁴⁾。モデルの構築にあたっては、1988~1997年のデータを用いた。なお、解析の都合上閏年の2/29は省いた。

2.2 積雪深の推定方法

積雪深の予測は水量および熱量の収支に基づき行った¹⁵⁾⁻¹⁷⁾。ある日の積雪はその前日の積雪と、当日の気温、日照強度、そして降水(=降雨+降雪)が与えられることによって、単位面積あたりの積雪層の水量、熱量の収支は以下のように決まる。

$$W_t(n) = W_t(n-1) + W_p(n) - W_{\text{melt}}(n) \quad (\text{水量の収支}) \quad (1)$$

$$Q_t(n) = Q_t(n-1) + Q_s(n) + Q_m(n) - Q_{\text{melt}}(n) \quad (\text{熱量の収支}) \quad (2)$$

$$Q_m = R_n + H + LE + Q_p \quad (3)$$

ただし W_t : 積雪層の含水量(m) (= W_{ice} (雪氷層) + W_w (積雪層内間隙水)), W_p : 降水量 (= W_r (降雨量) + W_s (降雪量)), W_{melt} : 融解による地上浸透量, n : 暦日, Q_t : 積雪層の総熱量(cal/m^2), Q_s : 新雪の熱量, Q_m : 融解熱量, Q_{melt} : 間隙水の流出による消失熱量, R_n : 放射熱量, H : 顕熱交換量, LE : 潜熱交換量, Q_p : 降雨による熱量である。

計算のステップは一日をその単位とした。また、積雪層は計算を簡単にするために深さ方向に一様であるとしている。すなわち、雪温や後述する圧密度等は、前日までの積雪と、当日の新雪とを平均化したのち翌日の計算ステップに移行する。

降水 W_p は降雨 W_r と降雪 W_s によって構成される。本研究では気温 4°C 以上の場合降雨が、 0°C 以下の場合降雪が、また $0 \sim 4^{\circ}\text{C}$ の場合はその温度に比例する割合で降雨と降雪が生じるとした¹⁶⁾。

積雪層は氷結部分と間隙水の部分とで構成される(間隙水温は 0°C とした)。融解熱によって融解した水は積雪層に保水される。保水能を越えた水量は地上に浸透するものとする。可能保水量 W_{tMAX} は W_{ice} 、可能保水率 r 、 ρ_s : 積雪層にしろめる氷結水の割合(-)を用いて以下のように表される。

$$W_{\text{tMAX}} = r \cdot W_{\text{ice}} \quad (3)$$

$$r = 0.0015 \rho_s \quad (\rho_s > 0.4)$$

$$= 0.001 \rho_s \quad (\rho_s < 0.4) \quad (4)$$

融解熱量 Q_m は雪氷の温度変化または融解を引き起こす。 $Q_m > 0$ の場合は雪氷の温度を上昇させる。 0°C を越えた熱量は雪氷を融解させる。 $Q_m < 0$ の場合は間隙水を再凍結し、それを越えた(負の)熱量は、雪氷の温度を下降させる。

融解熱量の各項目の計算(式(3))は尾崎ら¹⁰⁾の河川熱収支の計算方法とほぼ同様である。ただし表面における短波放射の反射率は河川とは異なるため山崎ら¹⁸⁾の実験式を用いた。

積雪層は日数が経過するごとに、圧密を生じ、積雪層における氷雪の圧密 $\rho_s(-)$ を変化させる。新雪における ρ_s は 0.1、その後の圧密過程は以下のように表されるとした¹⁹⁾。

$$\rho_s(n) = \rho_s(n-1) \times (1 + W_{\text{ice}} / \eta) \quad (5)$$

$$\eta = ((1.08 \times 10^2) \cdot \exp(21.0 \rho_s(n-1))) \quad (6)$$

ただし η : 粘性圧密係数(g/cm)である。

ここで本研究における積雪層の深さ方向の変化の取り扱いについて述べる。基本的には深さ方向には一様であると見なした。しかしそのため2つの点で実情と大きく異なる点が生じた。その点と対処について述べる。

1. 雪面からの長波放射を過大に見積もる傾向(短波放射と同程度かそれ以上)が生じた。この原因としては、実際には積雪層内では熱の拡散が小さいため温度分布が不均一であるにもかかわらず、温度を均一なものとして仮定しているためであると考えられた。しかし実際には放射によって熱が散逸した場合、その表面のみで急激に温度低下が生じ、そして長波放射は温度の関数であるためその大きさは短波放射よりも相当小さいと考えられる。そこで雪面からの長波放射は0とした。また放射の収支のバランスをとるために大気からの長波放射も同様に0とした。このため放射は短波放射のみであることになるが、一般に放射の収支において主要な成分は短波放射によると考えられており¹⁶⁾¹⁷⁾、実情と大きくは離れていないと考えられる。

2. 計算上の積雪深が50cmを越えるあたりから積雪深の増加が頭打ちになっていた。これは圧密を均一に、しかも最底部の値で代表しているために圧密が過大に評価されたためと考えられた。そこで圧密には深さ方向に分布があるものと仮定した。表面は常に新雪の圧密(0.1)、最底部では式(5)、(6)で表される圧密で、任意の深さではその深さまでの相当水量に比例するだけの圧密が生じているものとした。この仮定のもと全層の平均圧密 ρ_{ave} を計算すると $\rho_{ave} = (\rho_s - 0.1) / (\ln \rho_s - \ln 0.1)$ となる。

ρ_{ave} を用いると、積雪深H(cm)は以下のように表される。

$$H = W_{ice} / \rho_{ave} \quad (7)$$

以上の計算から、気温、降水量、湿度、風速、緯度、日照時間が与えられると積雪深を算出することができる。ただし、ここに示した諸元のうち、湿度は本研究では入手できていない。そこで、各地点で湿度を0~100%まで10%刻みで変化させ、最も実測に近い値を与えるものとして湿度を定めた。フィッティングは不一致日数が最小になるように行った。不一致日数とは、各日の積雪の有無が実測と予測とで一致しない日数である。

2.3 スキー客数に影響を与える因子

各スキー場の平均的なスキー客数に影響を与える最も基本的な因子としては、スキー場の立地条件(近郊都市とのアクセス性、競合するスキー場の条件)、スキー場そのものの状況(規模や設備状況)がある。また経年的な変動に影響を与える因子としては上記立地条件の経年的な推移に加え、全般的な経済状況、流行(スノーボードなど)、リフト券の価格、降雪器、造雪機の使用状況、そして積雪状況などが考えられる。本研究における解析の目的は積雪量がスキー客数に及ぼす影響を調べることであるが、実際には影響因子は様々であり、積雪量はそのうちのひとつにすぎない。そこでそれら様々な要因が全国的な傾向にどのように表れているかを全国的なデータに基づいて検討した²⁰⁾(図-1)。スキー人口は最近では減少傾向にある。これはスキー産業の成熟と、スキー人口の中核をなす若年人口の漸減などが原因と考えられている¹²⁾。そこで1991年までは人口は増加するもののそれ以降直線的に減少していると見なし直線的に補正し、2000年現在の値に指数化した。1991年をピークとしたのは減少傾向がバブル崩壊をきっかけに生じたと考えたからである。

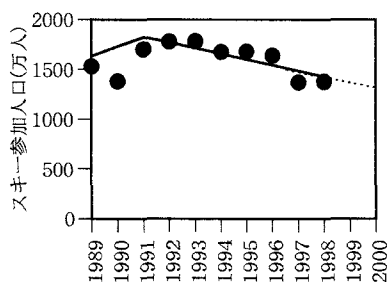


図-1 全国スキー参加人口の経年変化
(折れ線は補正に用いた推定)

そのほかの影響については、まず立地条件の変化については各スキー場についてその具体的な情報を詳細に確認することはできなかったが、スキー場の客数の推移をみたところ、急激な変化は観察されなかった。スキー場そのものの設備であるが、索道統計¹⁹⁾によると解析期間内にリフトを新設したスキー場はなく、大幅な変更はないものとした。また、降雪器、造雪機についてであるが、研究対象とした各スキー場に直接問い合わせたところ、ひとつのスキー場をのぞいてすべて降雪器を用いていた。その使い方は主に雪質の改善であるとのことであり、そのため、それによる積雪状況の大幅な改変はないと考えられる、とのことであった。以上の考察から積雪深以外の変動が積雪-客数の相関に大きな偏りを生じさせていることはないと思われた。

3. 結果と考察

3.1 積雪層モデルによる積雪深

まず湿度を用いたパラメータフィッティングを、今回適用する7箇所の各アメダス地点において行った。湿度を50~100%まで10%刻みに変化させ、モデルの計算を行い年平均の不一致日数を指標として実測値と比較した。なお、検討に用いた期間は1988/09/01~1997/08/31までとした。積雪シーズンの区切りのはじめは9月

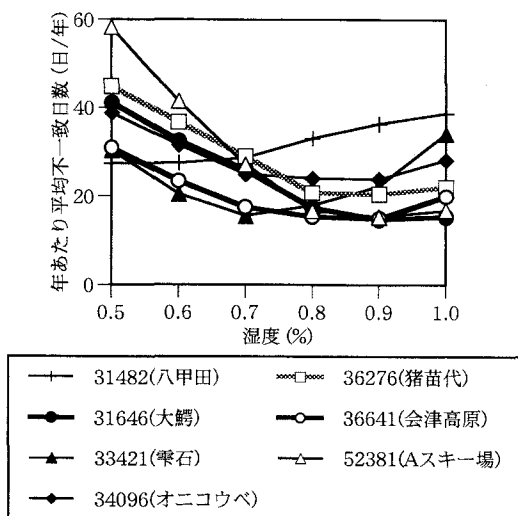


図-2 湿度と年あたり平均不一致日数

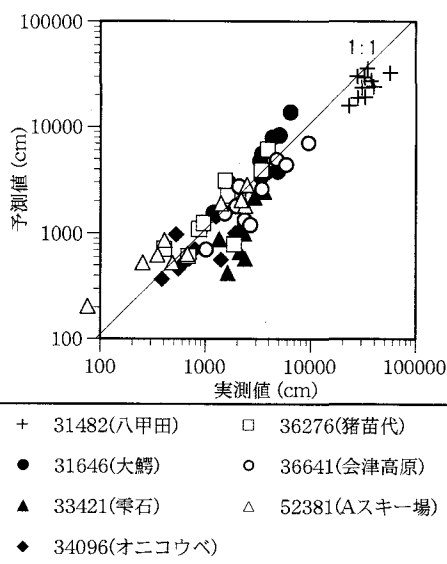


図-4 年間積算日積雪深の実測値と予測値

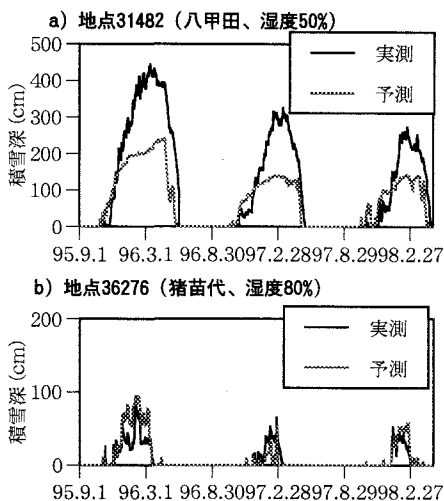


図-3 積雪深の経日変化の例

1日とし、そこで区切られる一年間を「シーズン年」と呼ぶことにする。例えば1988/09/01~1989/08/31の一年間は1988「シーズン年」とする。結果を見ると(図-2)、50~100%の間、平均的には8,90%の間に極小がある。計算上の積雪深は湿度の上昇とともに下がる傾向であった。これは湿度が蒸発潜熱に大きな影響を与え、湿度の上昇とともに蒸発潜熱が少なくなり、それによる積雪層の温度低下が少なくなるためであった。

この結果から、各地点で不一致日数の極小を与える湿度をその地点での値として採用することとした。それらの値での、積雪深が大きい地点と小さい地点での結果例を図-3に示す。図-3(a)で、積雪深の予測値が実測値と比べ小さい傾向にある。(b)では積雪期間、積雪深ともによく一致している。地点により一致度に差があるのは雪質の違いによる圧密の違いによるものではないかと考えられた。全般的な一致の程度をみるために、各地点でシーズン年ごとの一年間の積算日積雪深を集計し、全地点での比較を行った(図-4)。積雪深

の多いところから少ないところまで一致の程度はよく、圧密の違いの補正を行わなくとも本モデルはある程度適用可能であると考えられる。そこで本モデルを用い、スキー場での積雪深を予測することとした。

3.2 スキー客数の経年的な推移

積雪量と客数の経年的な推移を、八甲田、オニコウベ、猪苗代、Aスキー場を例として示す(図-5)。1シーズン年内の積算日積雪量と総客数との関係で示した。また、両者の関係を図-6に示す。積雪深が多い方が客数が多くなる傾向があるものの、その両対数グラフでの傾きは1より小さい。

3.3 Aスキー場におけるスキー客数の経日的な推移

スキー客の詳細な動向を検討することを目的として、日単位で実測の積雪深とスキー客数の値が分かっているAスキー場を対象としてその推移を調べた。まずスキー客の動向は平日と土日は異なるとして、各一週間の月~金の合計客数と土日の合計客数を別にとった。平日の合計をとる際には、祝日を含む週は対象としないこととした。1995年12月1日~1996年4月10日と、翌年の同暦日の結果を図-7に示す。平日、土日ともに積雪

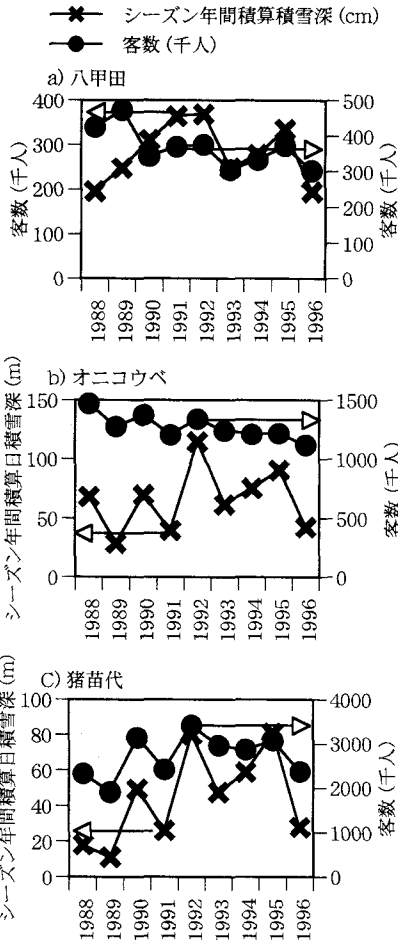


図-5 積雪深と客数の経年変化の例

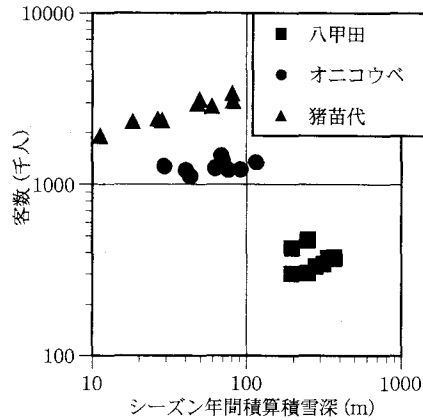


図-6 年単位の積雪深と客数との関係の例

a) 95年12月1日～96年4月10日

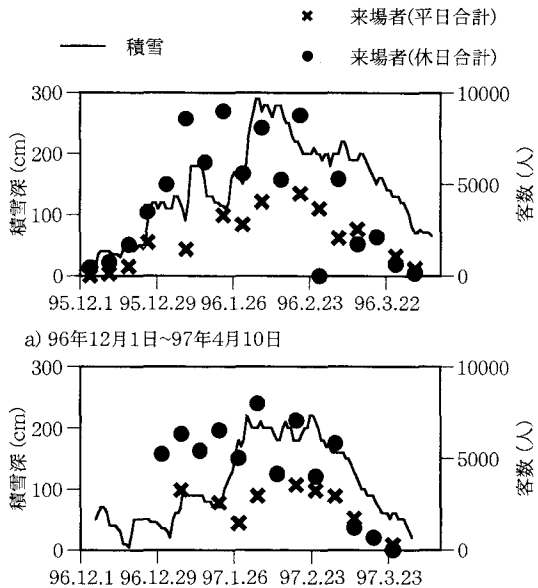


図-7 Aスキー場における積雪深とスキー客数の経日変化

深とある程度歩調を合わせるように推移している。しかしシーズンの中程(12月29～2月23日あたり)では積雪深が変化しても客数はそれほど変動していないことが分かる。これはある程度以上積雪が生じている時期には、積雪深が大きいからといってスキー客がスキーに行きたくなる気持ちが強くなる訳ではないからと考えられる。前節におけるスキー客数の年変動が積雪深に比較して少ないのも、同様の心理からくるものではないだろうか。

各週の平日(月～金曜日)の平均積雪量と合計客数、そして土日の同様の関係を図-8に示す。積雪深とスキー客数との間には相関が見られる。また平日においては4000人程度が、休日においては8000人程度が上限になっているようである。平日と土日とは値そのものは異なるものの積雪深に対する依存性は共通している。月ごとの傾向を詳細に見ると12月から4月にかけてプロットが経時的に時計回りで推移しているようである。これは図-7において客数のピークが積雪深のピークよりも早い傾向があることと対応する。この理由はシーズン前半の方がスキーに行こうとする気持ちが強いからであると考えられる。

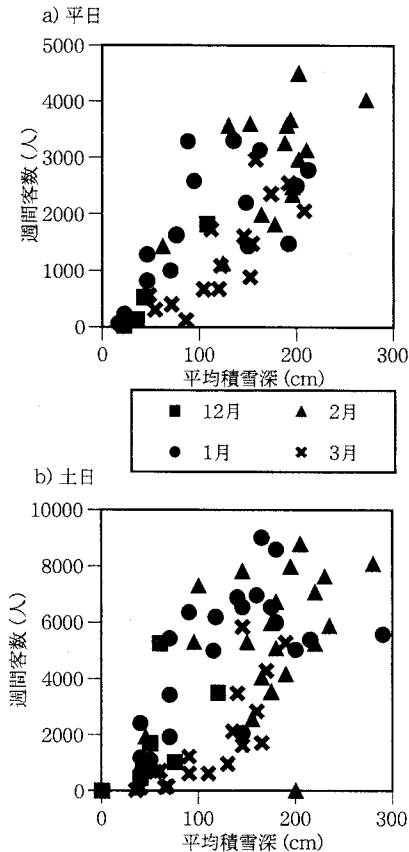


図-8 Aスキー場の平均積雪深と週間客数

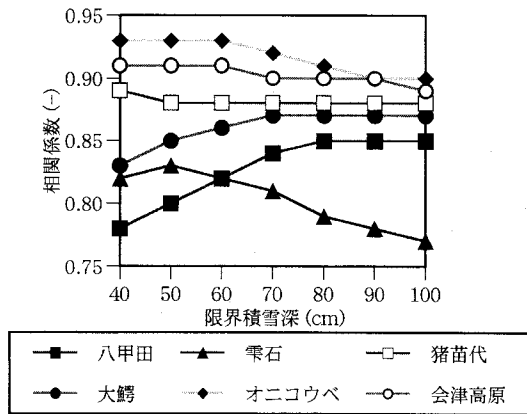


図-9 限界積雪深ごとのスキー可能日数とスキー客数の相関係数

3.4 積雪深がスキー客数に及ぼす影響のモデル化

積雪深がスキー客数に及ぼす影響を以下のようにモデル化した：ある程度の積雪深まではスキー客数は積雪深に比例して増加し、ある積雪深を超えるとスキー客数は積雪深に依存しなくなる。スキー客数が積雪深に比例する上限の積雪深を「限界積雪深」とする。次に、月あたりの「スキー可能日数」を以下のように定義する。各日の積雪深の、限界積雪深に対する比を計算し、1より小さければその値を、1以上であれば1を、その日のスキー可能性とし、その一月の合計値を「スキー可能日数」とする。1ヶ月を30日とした場合そのすべての日の積雪深が限界積雪深を超えていた場合スキー可能日数は30日となる。あるいは15日が積雪深0、残りが限界積雪深以上の場合、あるいは30日すべてで限界積雪深の半分だった場合、このいずれの場合もスキー可能日数は15日となる。

る。

以上のようにモデル化し、スキー可能日数を定義した場合、月当たりのスキー客数とスキー可能日数との関係はスキー場ごとに直線的な関係になるはずである。まずスキー場ごとの限界積雪深を求めることを目的とし、様々に設定された限界積雪深のもとで、スキー可能日数と月当たりスキー客数との間の相関を計算し相関係数が最大となる限界積雪深を求めた。計算に際しては限界積雪深を40~100cmの10cmごとに計算した。また積雪深は月平均値を用いた。結果を図-9に示す。なお、平日と休日とはその傾向は異なるはずであるがここでは月ごとの客数しかないので月の平均値として一括して計算した。Aスキー場の結果から平日と休日には一定の関係があると考えられ、また一ヶ月中に含まれる平日と休日の比はおおむね一定だとすれば、以上の仮定はある程度妥当であると考えたためである(年末年始を含む12, 1月は他の月と異なる傾向を持つと考えられたが、結果として、明らかな違いは見いだされなかったので相関の計算は一括して行うこととした)。結果を見ると雫石のように明確な極値を持つものがあるが、そうでないものもある。これらは月平均値を用いているために明確な傾向を見出せなかった可能性がある。或いはスキー場によっては仮定が妥当でない可能性もあり、個別のスキー場の詳細な検討は今後課題とすべき問題である。

ここで以上のモデルに基づき積雪深の変化から客数を予測し実測と比較することを試みた。限界積雪量については、図-9で明確な極値が得られていないものでも得られた最大値を極値と見なした。いずれも相関係数自体が大きく、ある程度の推定は可能であると考えられる。得られた最適値のもと計算されたスキー可能日数と月当たりの合計客数との関係の例を図-10に示す。大まかには両者には比例関係がみられる。ここで回帰直線の傾きは積雪深によって決まるそのスキー場の最大の日当たり客数を意味している。この傾きの値を以

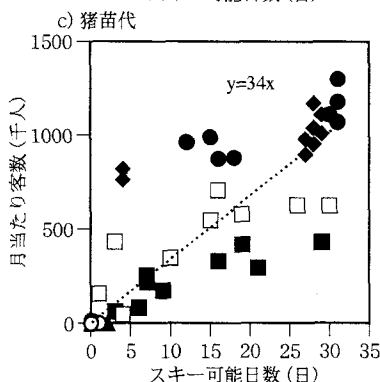
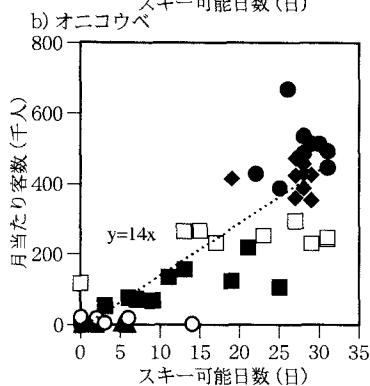
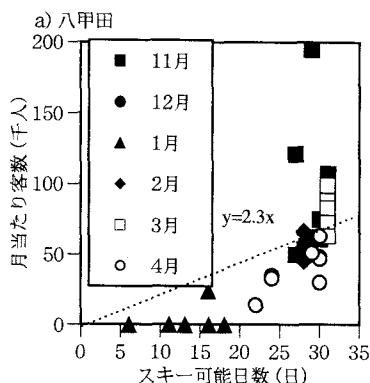


図-10 スキー可能日数と客数の例
(点線は回帰直線、式の単位は千人)

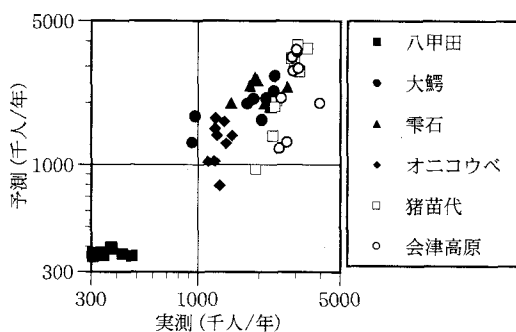


図-11 実測と予測スキー客数

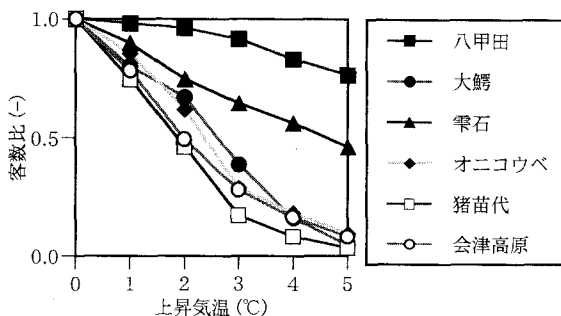


図-12 気温上昇と客数比の変化

降、「限界客数」と呼ぶ。

以上の計算によって得られた予測積雪深、限界積雪深、限界客数を用い年間スキー客数を推定し、予測客数と実測客数との関係を図-11に示した。場所によってその一致の程度は異なり、例えば猪苗代などはよい傾向の一致を見いだしたが、八甲田のようにほぼ一定の予測だったものもあった。八甲田のように予測値がほぼ一定となり実測値が変動したのは、積雪以外の因子によってスキー客数が決まっているためであると考えられる。全般的には、必ずしも高い精度ではないが、ある程度は積雪に対する依存性を示せたといえる。

3.5 気温が上昇した際の客数の変動予測

本研究のモデルを用い気温が上昇した際の客数の変動を推定する。本モデルにおける1988~1997シーズン年の予測客数の計算結果のセットを現状値と見なし、その年平均値(図-11における各スキー場の予測客数の平均値に相当する)を計算する。それに基づき毎日の平均気温のみが1℃上昇したとしたとして計算を行い、その計算結果を1℃上昇した際の予測客数としその年平均客数を計算する。これを各スキー場で1~5℃まで1℃刻みで変化させ計算し、現状値との比率で指数化した結果を図-12に示す。スキー場ごとに影響が大きく異なること、気温の上昇に対して直線的に客数が減少しないことなどが結果から分かる。八甲田、雫石は相対的に変動幅が少ない。これらのスキー場はもともと積雪深が大きく、ある程度気温が上昇しても限界積雪深を下回ることが少ないためであると考えられる。一方そのほかのスキー場では1、2℃の気温上昇でも10~50%も客数が減少しておりスキー場によってその影響が大きく異なることが分かる。温暖化によって気温は長期的には1℃から3℃程度まで上昇すると言われており、スキー場によっては温暖化の影響が甚大であることが、この結果からも分かる。

4. おわりに

本研究は気象条件がスキー客数にどのような影響を及ぼすかを調べたものである。本論文はその基本的な考え方を示したものと考えているが、まだ十分考察できなかった点も多い。積雪に関しては積雪深の精度が十分とは言い難い。この点に関しては雪質を考慮することで改善を図りたいと考えている。スキー客数に関しては、月ごとの特性を十分考慮できていない、スキー場相互の関連を考慮していないという問題点がある。今後これらの点を改善してゆきたい。また、将来予測に関しては短期的な変動も考慮した客数の変動予測、また経済的な影響評価などを行いたいと考えている。

謝辞 筑波大学地球科学系呉羽正昭氏、体育研究科井村仁氏には有益な助言をいただいた。また東北索道協会からは索道統計情報をいただいた。記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 地球温暖化影響研究会編：地球温暖化による社会影響、技報堂出版、1990。
- 2) 建設省土木研究所ダム部水工水資源研究室：地球温暖化が水資源に及ぼす影響に関する考察、土木研究所資料第3478号、1997。
- 3) 宝馨、小尻利治：地球温暖化による流域水文応答の変化に関する数値実験、土木学会論文集、No.479/II-25, pp.1~10, 1993。
- 4) 田中丸治哉、門屋睦：気温上昇が流域水文循環に与える影響(2)、京都大学防災研年報、35B-2, pp. 183-195, 1992。
- 5) 安藤義久：地球温暖化シナリオによる河川流出への影響評価に関する一考察、水利科学、38(4), pp. 34-44, 1994。
- 6) 山崎誠、小山俊、長谷川和義、平山健一：寒地河川における冬季渇水後期の流量変動予測、土木学会論文集、No. 565/II-39, pp. 11-20, 1997。
- 7) 盛谷明弘、丹羽薫：長期観測資料に基づいた温暖化の水資源の影響評価について、水工学論文集、Vol.35, pp. 647-658, 1991。
- 8) 角哲也、安達孝実、清水康生：地球温暖化が水需要に及ぼす影響に関する考察、環境工学研究論文集、Vol. 33, pp. 69-76, 1996。
- 9) 尾崎則篤、小野美由紀、福島武彦、原沢英夫：気象変動の河川水質に及ぼす影響に関する統計的研究、土木学会論文集、No. 629/VII-12, pp. 97-109, 1999。
- 10) 尾崎則篤、福島武彦、原沢英夫、小尻利治、河島克典：異なる時間スケールの気温、降水量、及び日射量の変動が河川水温に及ぼす影響、No.678/VII-19, pp. 93-103, 2001。
- 11) 呉羽正昭：群馬県片品村におけるスキー観光地域の形成、地理学評論、Vol. 64, No. 12, pp. 818-838, 1991。
- 12) 呉羽正昭：観光開発に伴う首都圏周辺山村の変容-群馬県片品村の例-、愛媛大学人文学会創立20周年記念論集、pp. 99-119, 1996。
- 13) Beniston, M.: *Mountain environments in changing climates*, Routledge, pp. 328-340, 1994。
- 14) 浮田正夫、河原長美、福島武彦：環境保全工学、p. 34, 1997。
- 15) 新井正、西沢利栄：水温論、共立出版、pp. 28-45, 1974。
- 16) 近藤純正：水環境の気象学-地表面の水収支・熱収支-、朝倉書店、pp. 240-260, 1994。
- 17) 気象研究ノート編集委員会編：気象研究ノート 融雪・なだれ特集、日本気象学会、Vol. 136, pp. 1-38, 1979。
- 18) 山崎剛、田口文明、近藤純正：積雪のある森林小流域における熱収支の評価、天気、Vol. 41, pp. 71-77, 1994。
- 19) 前野紀一、福田正己：雪氷の物性と構造、基礎雪氷学講座I、古今書院、pp. 167-170, 1986。
- 20) (財)余暇開発センター編：業種別レジャー産業の経営動向1999、同有館、p. 94, 2000。