

1 か月予報を応用する天候デリバティブの着想

高野 哲夫*

1. はじめに

2001年度から2002年度に渡り、気象庁と経済産業省の共同で「企業の天候リスクと中長期気象予報の活用に関する調査」および「天候リスクマネジメントへのアンサンブル予報の活用に関する調査」が民間委託により実施された。その結果、アンサンブル予報に基づく気象情報を経営判断へ活用し得る様々な可能性が示された（みずほ第一フィナンシャルテクノロジー株式会社 2002, 2003）。

また、2017年3月には、気象事業者・情報通信・農業・小売・金融などの産業界や学識経験者などを構成員とする「気象ビジネス推進コンソーシアム」が設立された。これは新たな気象ビジネスの創出を目指した取り組みである（気象庁 2017）。

さて、天候の影響で収益が左右される事業は少なくない。このような天候リスクに対する一つの対応策として、天候デリバティブが広く知られている。

これは、天候や気温に依存して収益が変化するデリバティブ（金融派生商品）であり、冷夏や長雨など気象条件の変動により被る損失を回避することができる（木島 2002）。

しかしながら、天候リスクの算出に関しては課題も残る。現状では過去の観測値から将来を統計的に推測する手法が用いられており、高めめのリスクバッファが加味される（土方 2003）ことが指摘されている。このため、アンサンブル予報から得られる「将来の予測値」を用いた天候リスク評価の実現が求められる。

一方、2017年3月、気象庁は1か月予報や異常天候早期警戒情報などの基礎資料作成に用いる数値予報シ

ステムとして「全球アンサンブル予報システム」の運用を開始した（気象庁 2017）。これにより1か月予報のさらなる精度向上が期待できる。

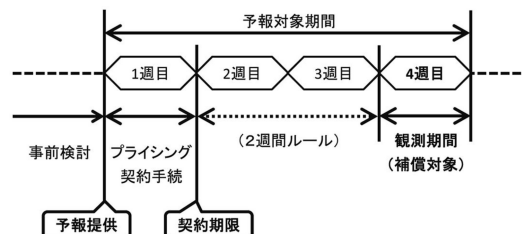
そこで本研究では、1か月予報を天候デリバティブに応用するアイデアを考案した。具体的には、架空のモデルケースを想定し、過去の観測値と1か月予報の各々に基づくプライシング（価格付け）を比較した。

2. 申込期限と適用範囲の条件

天候デリバティブの申込期限は、補償の対象となる観測期間の開始日より前に設定される。

一例を挙げると、損保ジャパン日本興亜株式会社 (https://www.sjnk.co.jp/hinsurance/art/weather_derivative/contract/ 2019.3.12閲覧) では「観測期間開始日の2週間前（申込期限日が営業日でない場合は前営業日）」とされている。そこで本研究でも同様に、観測期間開始日の2週間前（申込期限日が平日でない場合は直前の平日）を申込期限日と仮定する（以下、「2週間ルール」）。

第1図には、契約から観測終了までの日程を示す。1か月予報が一旦提供された後、その予報を基にプライシングを行い、天候デリバティブの契約申込に関する諸手続を完了するまでに、約1週間を要するものと



第1図 契約から観測終了までの日程

* Tetsuo TAKANO, 株式会社 SnowCast.
takano@snowcast-web.com

© 2019 日本気象学会

仮定する。その後2週間を経て、観測期間を開始することができる。この場合、観測期間となり得るのは、最後の4週目のみとなる。

上記の考察から、1か月予報を利用する天候デリバティブの適用範囲としては、1週間程度の期間で開催されるイベントや観光ツアー、営業キャンペーンなど「短期プラン」を想定することが考えられる。

3. 想定するモデルケース

本研究では「地域の雪像イベントの開催に際し、気温デリバティブを導入する」という架空のモデルケースを想定する。このイベントは、毎年2月の第2土曜日とその翌日の日曜日の2日間、山形県内（観測地点の近隣地域）を会場に開催されるものとする。

第2図には準備から開催までの日程を示す。開催の約1週間前から雪像の制作やイベントの準備が本格化する。この期間の気温上昇に伴う融雪が、潜在的な天候リスクとして存在する。

そこで、この天候リスクをヘッジするため、イベントを主催または参加する法人（リスクヘッジャー）が、保険会社またはその役割を担う法人（リスクテイカー）に対し、天候デリバティブ契約を申し込むものである。

以上を踏まえて、以下の(a)～(e)を仮定する。

(a) 対象イベントの開催日は、毎年2月の第2土曜日とその翌日の日曜日の2日間とする。

(b) 天候デリバティブは、気温上昇に伴う天候リスクのヘッジを目的とする。観測地点は会場から最寄りの気象官署である山形とし、観測期間は開催1日目を末日とする7日間とする（第2図）。また、気象指標は観測期間（7日間）の平均気温とする。

(c) 申込期限日は先述の2週間ルールに従う。

(d) 天候デリバティブは毎年の開催に合わせて、単発で契約を行う。すなわち、一回の契約は一回の開催に対してのみ有効である。

(e) プライシングに用いる1か月予報は、1月第2

| 日 | 月 | 火 | 水 | 木 | 金 | 土 | 日 |
|-------------|---|---|---|---|---|-----|---|
| 雪像制作・イベント準備 | | | | | | | |
| | | | | | | 開催日 | |
| 観測期間 | | | | | | | |

第2図 雪像イベントの準備から開催までの日程

水曜日21時を初期時刻とする1か月予報の地点ガイダンス（山形・7日間平均気温の平年差）を採用する。ここで、初期時刻から28日後を中心とする前後3日間（計7日間）が観測期間に相当する。

本研究では、寒冬の場合と暖冬の場合を比較するため、2018年と2019年の2回の開催について、次の通り各回契約を行うものと想定した（カレンダーを第3図に示す）。

(1) 2018年の場合（プラン1）

- ・開催日は2018年2月10日～11日。
- ・観測期間は2018年2月4日～10日。
- ・気象指標は観測期間の7日間平均気温（山形）。
- ・申込期限日は2018年1月19日。
- ・1か月予報の初期時刻は2018年1月10日21時。

(a) 2018年1月～2月半ば(プラン1)

| 日 | 月 | 火 | 水 | 木 | 金 | 土 |
|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 1 | 2 | 3 |
| 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |

(b) 2019年1月～2月半ば(プラン2)

| 日 | 月 | 火 | 水 | 木 | 金 | 土 |
|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
| 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 1 | 2 |
| 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |

... 初期時刻

... イベント開催日

太斜字 ... 観測期間

太下線 ... 申込期限日

第3図 初期値から観測期間までの日程（カレンダー）

太囲みは初期時刻、網掛けはイベント開催日、太斜字は観測期間、太下線は申込期限日

(2) 2019年の場合 (プラン2)

- ・開催日は2019年2月9日～10日.
- ・観測期間は2019年2月3日～9日.
- ・気象指標は観測期間の7日間平均気温 (山形).
- ・申込期限日は2019年1月18日.
- ・1 か月予報の初期時刻は2019年1月9日21時.

4. 天候デリバティブの契約プラン

第1表に、天候デリバティブの契約プランを示す。また、第4図には気象指標と決済額の関係を示す。ここで、2018年に適用する契約をプラン1、2019年に適用する契約をプラン2とし、観測期間を除く全ての条件が共通とする。

取引形態は気温を指標とするコールオプション取引である。気象指標がストライク (-0.2°C) を超えたことが観測された場合、その超過分に応じて決済金が支払われる。この決済額は、ストライクからの気温超過 0.1°C 当たり U 円 (単位価額) の割合で増加する。この決済額には上限を定め、単位価額の20倍 ($20U$ 円) を最大支払額とした。

また、過去 (1977年～2017年) の観測期間 (各年2月の第2土曜日を末日とする7日間) に該当する7日間平均気温 (以下、「平均気温」) の観測値を第2表に示す。第1表のストライクは、この中の直近5年分 (2013年～2017年、表中の網掛けの部分) の平均を適用した。

5. 契約プランのプライシング

天候デリバティブのプライシングとは、天候リスクの評価に基づいて契約料に相当するプレミアムを算定することである。

プレミアムは、将来時点において発生し得る決済額

の期待値に、ディスカウント・ファクター $e^{-r(T-t)}$ を乗じることで求められる。ここで、 r は無リスク利子率 (年利)、 t は観測期間の起点 (年)、 T は観測期間の終点 (年) を表す。従って、第1表に示すプランのプレミアムは次式 (1) で求められる。

$$C = e^{-r(T-t)} \times E \left[\text{Min} \left\{ \frac{U \times \text{Max} (T_m - K, 0)}{0.1}, P_{\text{max}} \right\} \right] \quad (1)$$

ここで、 C はプレミアム (円)、 E は [] 内の期待値、 Min は {} 内の最小値、 Max は () 内の最大値、 U は単位価額 (円/ 0.1°C)、 T_m は気象指標 ($^{\circ}\text{C}$)、 K はストライク ($^{\circ}\text{C}$)、 P_{max} は最大支払額 (円) である。なお、今回は簡単のため、 $r=0$ と仮定する。

決済額の期待値に関しては様々な計算方法が提案されているが、本研究では過去の観測事例から計算するバーニングコスト法と1か月予報の予報値を各々適用し、その結果を比較する。

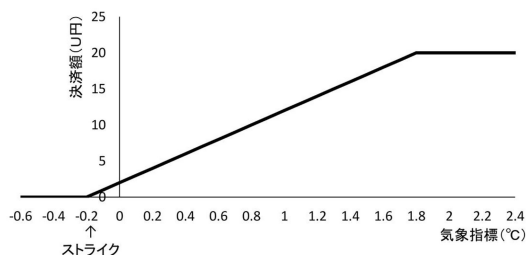
5.1 バーニングコスト法に基づく場合

バーニングコスト法は、過去にどれほどの気象要素が変動して、それによりどれだけの支払いが発生したのかを計測する方法である (土方 2003)。

まず、過去41年 (1977年～2017年) の平均気温 (第2表) の推移を第5図aに示す。図中の近似直線 (破線) は線形トレンドを表している (線形トレンドの近似式の y は平均気温、 x は西暦から1976を減じた数である)。この図から、平均気温は毎年約 0.04°C の割合で上昇する傾向が判る。プライシングに際しては、土方 (2003) に倣い、この線形トレンドを除去する。

第1表 天候デリバティブの契約プラン

| | |
|-------|---|
| 取引形態 | 気温を指標とするコールオプション取引 |
| 観測期間 | (プラン1) 2018年2月4日 (日)～2019年2月10日 (土) (プラン2) 2019年2月3日 (日)～2019年2月9日 (土) |
| 観測地点 | 山形 (気象官署) |
| 気象指標 | 観測期間の7日間平均気温 |
| ストライク | -0.2°C |
| 単位価額 | U (円/ 0.1°C) |
| 最大支払額 | $20U$ (円) |



第4図 気象指標と決済額の関係

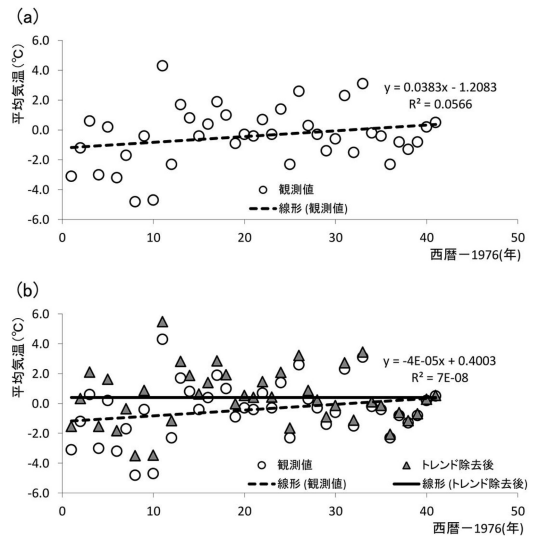
横軸は気象指標 (単位： $^{\circ}\text{C}$)、縦軸は決済額 (単位： U 円)。気象指標がストライク値を超過する場合、 0.1°C 当たり U 円の割合で決済額が増す。但し、 $20U$ 円を上限とする。

第 2 表 過去の平均気温 (1977年～2017年)

| 過去の観測期間 | | 平均気温 (°C) |
|----------|-------------|--------------|
| 開始日 | 終了日 | |
| 1977/2/6 | ～ 1977/2/12 | -3.1 |
| 1978/2/5 | ～ 1978/2/11 | -1.2 |
| 1979/2/4 | ～ 1979/2/10 | 0.6 |
| 1980/2/3 | ～ 1980/2/9 | -3.0 |
| 1981/2/8 | ～ 1981/2/14 | 0.2 |
| 1982/2/7 | ～ 1982/2/13 | -3.2 |
| 1983/2/6 | ～ 1983/2/12 | -1.7 |
| 1984/2/5 | ～ 1984/2/11 | -4.8 |
| 1985/2/3 | ～ 1985/2/9 | -0.4 |
| 1986/2/2 | ～ 1986/2/8 | -4.7 |
| 1987/2/8 | ～ 1987/2/14 | 4.3 |
| 1988/2/7 | ～ 1988/2/13 | -2.3 |
| 1989/2/5 | ～ 1989/2/11 | 1.7 |
| 1990/2/4 | ～ 1990/2/10 | 0.8 |
| 1991/2/3 | ～ 1991/2/9 | -0.4 |
| 1992/2/2 | ～ 1992/2/8 | 0.4 |
| 1993/2/7 | ～ 1993/2/13 | 1.9 |
| 1994/2/6 | ～ 1994/2/12 | 1.0 |
| 1995/2/5 | ～ 1995/2/11 | -0.9 |
| 1996/2/4 | ～ 1996/2/10 | -0.3 |
| 1997/2/2 | ～ 1997/2/8 | -0.4 |
| 1998/2/8 | ～ 1998/2/14 | 0.7 |
| 1999/2/7 | ～ 1999/2/13 | -0.3 |
| 2000/2/6 | ～ 2000/2/12 | 1.4 |
| 2001/2/4 | ～ 2001/2/10 | -2.3 |
| 2002/2/3 | ～ 2002/2/9 | 2.6 |
| 2003/2/2 | ～ 2003/2/8 | 0.3 |
| 2004/2/8 | ～ 2004/2/14 | -0.3 |
| 2005/2/6 | ～ 2005/2/12 | -1.4 |
| 2006/2/5 | ～ 2006/2/11 | -0.6 |
| 2007/2/4 | ～ 2007/2/10 | 2.3 |
| 2008/2/3 | ～ 2008/2/9 | -1.5 |
| 2009/2/8 | ～ 2009/2/14 | 3.1 |
| 2010/2/7 | ～ 2010/2/13 | -0.2 |
| 2011/2/6 | ～ 2011/2/12 | -0.4 |
| 2012/2/5 | ～ 2012/2/11 | -2.3 |
| 2013/2/3 | ～ 2013/2/9 | -0.8 |
| 2014/2/2 | ～ 2014/2/8 | -1.3 |
| 2015/2/8 | ～ 2015/2/14 | -0.8 |
| 2016/2/7 | ～ 2016/2/13 | 0.2 |
| 2017/2/5 | ～ 2017/2/11 | 0.5 |
| 平均値 | | -0.4 |

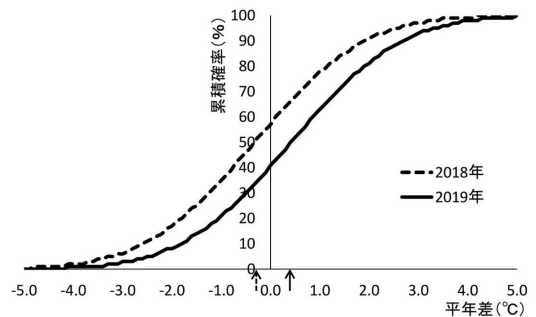
第 5 図 b には、線形トレンドを除去した後の平均気温の推移およびその近似直線 (実線) を重ねて示す。また、第 3 表には線形トレンド除去後の平均気温、ストライクからの気温超過、および発生し得る決済額を示す。

第 3 表の決済額は各年の平均気温のストライク超過を式 (1) に適用したものである。ここで、過去における



第 5 図 過去の気象指標の推移

(a) 第 2 表に基づく観測値, (b) トレンド除去後。横軸は西暦から1976を減じた数, 縦軸は平均気温 (単位: °C)。近似式はトレンド除去前, y は平均気温, x は西暦から1976を減じた数。



第 6 図 7 日間平均気温の 1 か月予報 (山形・平年差)

横軸は年差 (単位: °C), 縦軸は累積確率 (単位: %)。横軸の直ぐ下の矢印は期待値。

事象発生の平均値と将来における事象発生の期待値が等しい状態(マルチンゲール状態)を仮定し、過去41年の決済額の平均を将来の決済額の期待値として扱う。この結果、決済額の期待値は8.0U円と算定された。

第3表 トレンド除去後の平均気温と決済額
(1977年～2017年)

| 過去の観測期間 | | 平均気温 トレンド 除去後 (°C) | ストライク 超過 (°C) | 決済額 (U円) |
|--------------|-----------|-----------------------------|---------------------|-------------|
| 開始日 | 終了日 | | | |
| 1977/2/6 | 1977/2/12 | -1.5 | 0.0 | 0 |
| 1978/2/5 | 1978/2/11 | 0.3 | 0.5 | 5 |
| 1979/2/4 | 1979/2/10 | 2.1 | 2.3 | 20 |
| 1980/2/3 | 1980/2/9 | -1.5 | 0.0 | 0 |
| 1981/2/8 | 1981/2/14 | 1.6 | 1.8 | 18 |
| 1982/2/7 | 1982/2/13 | -1.8 | 0.0 | 0 |
| 1983/2/6 | 1983/2/12 | -0.4 | 0.0 | 0 |
| 1984/2/5 | 1984/2/11 | -3.5 | 0.0 | 0 |
| 1985/2/3 | 1985/2/9 | 0.9 | 1.1 | 11 |
| 1986/2/2 | 1986/2/8 | -3.5 | 0.0 | 0 |
| 1987/2/8 | 1987/2/14 | 5.5 | 5.7 | 20 |
| 1988/2/7 | 1988/2/13 | -1.2 | 0.0 | 0 |
| 1989/2/5 | 1989/2/11 | 2.8 | 3.0 | 20 |
| 1990/2/4 | 1990/2/10 | 1.9 | 2.1 | 20 |
| 1991/2/3 | 1991/2/9 | 0.6 | 0.8 | 8 |
| 1992/2/2 | 1992/2/8 | 1.4 | 1.6 | 16 |
| 1993/2/7 | 1993/2/13 | 2.9 | 3.1 | 20 |
| 1994/2/6 | 1994/2/12 | 1.9 | 2.1 | 20 |
| 1995/2/5 | 1995/2/11 | 0.0 | 0.2 | 2 |
| 1996/2/4 | 1996/2/10 | 0.5 | 0.7 | 7 |
| 1997/2/2 | 1997/2/8 | 0.4 | 0.6 | 6 |
| 1998/2/8 | 1998/2/14 | 1.5 | 1.7 | 17 |
| 1999/2/7 | 1999/2/13 | 0.4 | 0.6 | 6 |
| 2000/2/6 | 2000/2/12 | 2.1 | 2.3 | 20 |
| 2001/2/4 | 2001/2/10 | -1.6 | 0.0 | 0 |
| 2002/2/3 | 2002/2/9 | 3.2 | 3.4 | 20 |
| 2003/2/2 | 2003/2/8 | 0.9 | 1.1 | 11 |
| 2004/2/8 | 2004/2/14 | 0.2 | 0.4 | 4 |
| 2005/2/6 | 2005/2/12 | -0.9 | 0.0 | 0 |
| 2006/2/5 | 2006/2/11 | -0.1 | 0.1 | 1 |
| 2007/2/4 | 2007/2/10 | 2.7 | 2.9 | 20 |
| 2008/2/3 | 2008/2/9 | -1.1 | 0.0 | 0 |
| 2009/2/8 | 2009/2/14 | 3.4 | 3.6 | 20 |
| 2010/2/7 | 2010/2/13 | 0.1 | 0.3 | 3 |
| 2011/2/6 | 2011/2/12 | -0.1 | 0.1 | 1 |
| 2012/2/5 | 2012/2/11 | -2.1 | 0.0 | 0 |
| 2013/2/3 | 2013/2/9 | -0.6 | 0.0 | 0 |
| 2014/2/2 | 2014/2/8 | -1.1 | 0.0 | 0 |
| 2015/2/8 | 2015/2/14 | -0.7 | 0.0 | 0 |
| 2016/2/7 | 2016/2/13 | 0.3 | 0.5 | 5 |
| 2017/2/5 | 2017/2/11 | 0.5 | 0.7 | 7 |
| 決済額の期待値 (U円) | | | | 8.0 |

5.2 1か月予報に基づく場合

第6図は、2018年および2019年の山形の気象指標の
 年差の1か月予報(累積確率分布)である。

2018年の場合、気象指標の年差は -0.3°C である
 のに対し、年差の期待値は -0.3°C と予報されてい
 る。このため、気象指標の期待値は「 -0.6°C 」とな
 る。この場合、気象指標がストライク(-0.2°C)を
 超過しないと予想されるため、プラン1については契
 約を検討する必要はないと判断される。

一方、2019年の場合、気象指標の年差は -0.4°C
 であるのに対し、年差の期待値は $+0.4^{\circ}\text{C}$ と予報さ
 れている。このため、気象指標の期待値は「 0.0°C 」
 となる。この場合、気象指標がストライク(-0.2°C)
 を超過すると予想されるため、プラン2については契
 約を検討する必要があると判断される。式(1)によ
 り、プラン2のプレミアムは2.0U円と算定された。

6. 天候デリバティブのプレミアムの比較

実際に山形で観測された気象指標は、2018年は
 -0.3°C 、2019年は $+0.8^{\circ}\text{C}$ であった。この結果を踏ま
 えて、バーニングコスト法および1か月予報に基づく
 結果を比較する。第4表には各プランを適用した場合
 のプレミアム、観測値に基づいて発生する決済額、お
 よび両者の差額(=決済額-プレミアム)を示す。

まず、プラン1の場合を第4表aに示す。この場

第4表 プレミアム、決済額、および差額の比較
 (a) プラン1, (b) プラン2。(a)の
 1か月予報の場合は「契約の必要がない」
 と判断されたため「-」で表記した。

(a) プラン1

| | 計算方法 | |
|-------|-------|--------------|
| | 1か月予報 | バーニングコスト法 |
| プレミアム | — | 8.0 |
| 決済額 | 0.0 | 0.0 |
| 差額 | — | Δ 8.0 |

(単位:U円)

(b) プラン2

| | 計算方法 | |
|-------|-------|-----------|
| | 1か月予報 | バーニングコスト法 |
| プレミアム | 2.0 | 8.0 |
| 決済額 | 10.0 | 10.0 |
| 差額 | 8.0 | 2.0 |

(単位:U円)

合は気象指標の観測値 (-0.3°C) がストライク (-0.2°C) を超過しなかったため、決済額は発生しない。1か月予報でも寒冬傾向を予想しており(第6図)、検討段階において「このプランは契約しない」と判断することができた。一方、バーニングコスト法の場合はプレミアムが発生するため、リスクヘッジにはプレミアムに相当する損失が発生する。

続いて、プラン2の場合を第4表bに示す。この場合は気象指標の観測値 ($+0.8^{\circ}\text{C}$) がストライク (-0.2°C) を超過したため、決済額が発生する。1か月予報でも、暖冬傾向を予想しており(第6図)、検討段階において契約の必要はあると判断できた。バーニングコスト法の場合も同じく、プレミアムが発生する。この表においては、1か月予報に基づくプレミアム (2.0U円) よりも、バーニングコスト法によるプレミアム (8.0U円) の方が実際の決済額 (10.0U円) により近い値を示した。

1か月予報に基づくプライシングの場合、プラン1については検討段階で「このプランは契約しない」と判断することができた。契約を見送ることで、リスクヘッジは過大なコストを投じる必要がなく、またリスクテイクも過大なリスクを保有する必要がない。このように、予報に基づいて契約の要否を判断できる点は有益である。

また、プラン1およびプラン2のいずれの場合も、バーニングコスト法に基づくプレミアムの方が割高であった。土方(2003)は、現状のプライシングで用いられている手法は、過去の観測値を元にしており予報を考慮する余地がなく、リスクバッファの占める部分が大きくなり、プレミアムが割高に算出されることを指摘している。この特徴が、第4表の結果にも現れている。

7. おわりに

本研究では、1か月予報を天候デリバティブに応用するアイデアを考案した。2週間ルールが適用される場合、観測期間は1週間程度を想定することが考えられる。これを踏まえて、地域の雪像イベントに対する気温デリバティブを想定し、過去の観測値と1か月予報の各々に基づくプライシングを比較した。

この結果、過去の観測値に基づく場合では、プレミアムが過大に評価される傾向が見られた。一方、1か月予報を用いた場合は、暖冬・寒冬の傾向が的確に予報されており、その結果がプライシングにも反映され

ていた。このため、契約前の段階で「このプランは契約しない」とする判断も可能となり、天候リスク評価の適正化が図られている。今後、1か月予報の向上とプライシングへの適用が進むことで、リスクヘッジの適正化に寄与することが期待される。

一方、2週間ルールの下で1週間を超える観測期間に対応するためには、1か月を超える長期を対象とした予報が必要になる。この場合、現状では未だバーニングコスト法をはじめ、過去の観測値から将来を推測する手法を用いる選択肢も現実的であろう。しかし、今後の季節予報のさらなる発展に伴い、気象予測に基づくプライシングや天候リスク評価が実現することを期待したい。

謝辞

研究や教育を本務としない環境にあつて本研究を進めるに当たり、株式会社 SnowCast 代表取締役・杉浦 聡気象予報士より御支援を頂きました。

1か月予報は、(一財)気象業務支援センターから筆者の所属企業にて受信したファイル形式データを使用しました。また、地上観測データは気象庁ホームページにて公開されたデータを使用しました。

雪像イベントの想定は山形県米沢市の「上杉雪灯籠まつり」(<http://yukidourou.yonezawa-matsuri.jp/>)を参考にさせて頂きました。

最後に、これまで季節予報の発展に尽力された関係者の皆様に心より感謝を申し上げます。

参考文献

- 土方 薫, 2003: 総論 天候デリバティブ. シグマベイス キャピタル, 243pp.
- 木島正明, 2002: 金融工学. 日経文庫856, 日本経済新聞出版社, 213pp.
- 気象庁, 2017: 気象業務はいま 2017. <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/hakusho/2017/index1.html> (2019.3.30閲覧)
- みずほ第一フィナンシャルテクノロジー株式会社, 2002: 気象庁委託調査 企業の天候リスクと中長期気象予報の活用に関する調査 報告書. <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/chousa/index13-2.html> (2019.1.31閲覧)
- みずほ第一フィナンシャルテクノロジー株式会社, 2003: 気象庁委託調査 天候リスクマネジメントへのアンサンブル予報の活用に関する調査 報告書. <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/chousa/index14.html> (2019.1.31閲覧)