

・中長期気象予報の活用策

本章においては、企業の天候リスクマネジメントに中長期気象予報をどのように活用するのかという観点から、その活用可能性についてまとめる。

三井住友海上火災保険（株）委員からは、長期予報の精度が向上することの意義についてモデルケースを設定しつつ説明があり、（財）日本気象協会委員からは、アンサンブル予報を中心とした中長期気象予報の活用方法に関する一考察として説明があった。

1．長期予報と企業の天候リスクマネジメント

長期予報と企業の天候リスクマネジメントに関して、長期予報の精度にのみ着目し、精度が上がった場合にどのようなことがいえるかについて三井住友海上火災保険（株）委員より以下の発表があった。ここでは、かなり多くの仮定を置いており、あくまで精度向上の影響を分析していくことが主な目的である。

ここでの検討のポイントは次の3つである。1つ目は、長期予報の精度向上が企業の天候リスクマネジメントに与える影響、つまり、精度が向上すると、企業にとってそれはどのような意味を持つのか、どのような評価ができるのかという点であり、精度が向上した場合もまだ残るべき問題は何かとの点にも触れる。2つ目に、精度向上が天候デリバティブに対して与える影響を考える。天候デリバティブの市場に対してどのような影響を与えるのかという問題と、もうひとつは天候デリバティブ自体の価格等に何らかの影響を与えるのかという点について検討する。3つ目に、企業における天候リスクマネジメント向上に向けた課題を探るべく、シミュレーション例を通して、今後考えるべきポイントについて議論する。

検討のポイント

1．長期予報の精度向上が企業の天候リスクマネジメントに与える影響

- ～ 精度が向上することは企業にとってどう評価できるか？
- ～ 精度が向上した場合、企業にとっての問題は何か？

2．長期予報の精度向上が天候デリバティブ（市場）に与える影響

- ～ 精度が向上すると天候デリバティブの活用に影響があるか？
- ～ 精度が向上すると天候デリバティブ自体に影響があるか？

3．企業の天候リスクマネジメント向上のための課題

- ～ 長期予報に求められるもの
- ～ 企業側に求められるもの



（1）長期予報の精度向上が企業の天候リスクマネジメントに与える影響

ここでは、幾つかの前提を置いたある仮定の事例を用いて説明する。この例はあくまで仮

想の事例であり、また利用する長期予報は「冷夏」「平年並」「猛暑」のいずれかになるという言い切り型の予報とし、その予報の精度についても事前に把握が可能であると仮定している。

まず、この仮想企業のプロフィールになるが、名前は大江戸ドリンク社、清涼飲料の生産・販売の会社とする。利益は、清涼飲料であるため、冷夏リスクの影響を大きく受ける。この会社の生産から販売までのリードタイムは2～3か月とする。気象庁がテーマとする長期予報と同程度の期間で、長期予報を活用して生産量を決定していると仮定する。この会社は、長期予報の発表時点において、夏の生産量を7000万リットルから1億3000万リットルの間で設定をしている。長期予報に合わせてどういった生産量がいいのかということを決めているという設定である。ただし、実際に予報の後、どうい

う気温になるか、結果になるかということがわからないので、その生産量については、その時々需要に合わせてプラス・マイナス500万リットルの幅で調節ができるものとする。この会社の利益構造は、100万リットルの販売によって3000万円の利益を得ることができる。ただし、生産量が需要より多い場合、需要を超過した分については、在庫費用及び処分損により100万リットル当たり1000万円の損失が発生すると仮定する。逆に需要の方が生産より多い場合、生産が追いつかないことで発生する品切れによる2次的なロスはこの中では特には考慮しないこととする。

需要と気温の関係については、単純化し、線型の相関関係があると仮定する。具体的には1℃気温が上昇するごとに需要は1000万リットル増加する。右図のように、例えば30℃のときは1億リットルの需要になる。1℃で1000万リットル異なるので、27℃であれば、3000万リットル低い7000万リットル、33℃のときは1億3000万リットル、という幅で需要が変動するという関係を仮定する。

前提条件(1)

企業プロフィール

1. 「大江戸ドリンク社」は、清涼飲料の生産・販売会社であり、利益は冷夏リスクの影響を大きく受ける
2. 大江戸社の生産・販売までのリードタイムは2～3ヶ月であり、夏季の生産量決定に長期予報を活用している
3. 大江戸社は、長期予報(=3ヶ月予報)発表時点においては、夏季の清涼飲料水生産量を70～130百万リットルの間で生産量を設定できる
4. 更に実際に生産する段階で、長期予報発表時に設定した生産量を±5百万リットルの幅で調整できる

前提条件(1)

大江戸社の利益構造

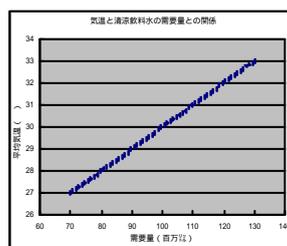
1. 大江戸社は1百万リットルを販売することにより、3000万円の利益を得る
2. ただし、生産量が需要より多い場合は、需要を超過した部分については在庫費用・処分損等により、1百万リットルあたり1000万円の損失が発生する
3. 需要量が生産量より多い場合には、生産量=販売量(売上)となるが需要量が生産の調整幅を超えた場合には品切れとなり販売量は頭打ちとなる(ただし品切れによる付加的なコスト・ロスは考慮しない)



前提条件(2)

1. 清涼飲料の需要量は気温と線型の(相関)関係にある
2. 平均気温が1℃上昇する毎に需要量は1000万リットル増加するものとする(30℃の時は1000万リットルの需要)

<平均気温と清涼飲料水の需要量との関係>

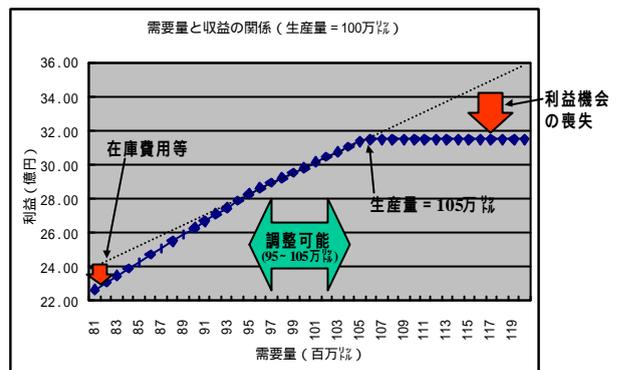


次に、需要と利益との関係についてであるが、この企業は長期予報を入手すると、それに合わせて一定の生産量を決めるものの、調節も可能という前提を置く。即ち、右図のように、生産量を100万リットルとした場合に、需要に対して95万リットルから105万リットルのところは調節が可能と考える。収益は需要に合わせて線型の関係にあるが、105万リットルを超えると、これ以上は調節ができないため一定となる。逆に95万リットルを下回ると在庫費用等が出てくる、という関係にあるということを前提としている。

前提条件 (2)

需要量と利益の関係

<生産量を100万リットルと設定していた場合の需要量と利益の関係>



6

更に、天候と予報との関係についての前提条件について述べる。まず、夏の天候として3つに区切る。ひとつは夏の平均気温が27から29、この場合には冷夏、29から31までの場合には平年並み、31から33までを猛暑とする。この3つの気候パターンのいずれかになるという言い切り型の予報が公表されるという前提を置いている。また、実際の天候が冷夏、平年並み、猛暑となる確率については、冷夏が25%、平年並みが50%、猛暑が25%、という確率で実際には発現すると仮定する。しかも、それぞれの冷夏、平年並み、猛暑においては、この中では確率については一様に分布していると仮定する¹。(冷夏の場合27から29で確率一定)

前提条件 (3)

夏季天候と長期予報

1. 夏季において、平均気温が27～29の場合「冷夏」、29～31を「平年」、31～33を「猛暑」と区分する
2. 夏季の天候が「冷夏」、平年、猛暑」となる確率はそれぞれ25%、50%、25%であり、それぞれの区分において気温は一様に分布しているものとする
3. 長期予報の精度としてA・B・Cの3通りを想定する (A=精度低、B=精度中、C=精度高)
4. 「精度」とは、一定の長期予報における的中率、即ち、実際の「冷夏」、「平年」、「猛暑」の発現割合を表わす
予報精度は公表され、予め分かっているものとする



7

¹ この仮定は、かなり強い仮定であり、現実には冷夏、平年並み、猛暑が発現する確率を特定する事は難しい。また、3つの区切りの中では一様に分布しているという仮定も現実には考えにくい。

長期予報の精度についてであるが、A、B、C、3通りの精度を仮定した。Aが一番精度が低い場合、Bが中程度、Cが一番高いケースを考える。イメージ的には、気象会社あるいは気象予報士が3人いて、それぞれの的中率が異なるといった想定となる。ここでいう精度というのは一定の予報における的中率で、具体的には冷夏、平年並み、猛暑の発現割合を指す。例えば、冷夏と予報したときに、実際にそのとおりになった割合がどのくらいあったのか、といったことが予めわかっているということを前提としている。このように、精度が予めわかっている点が、本事例のポイントであるが、実際にはなかなか難しい前提といえる。

前提条件 (3)

長期予報と予報精度

1. 長期予報 = 「冷夏となる」(27 ~ 29) 場合

区分	気温	予報精度		
		A	B	C
冷夏	27℃～29℃	35%	50%	70%
平年	29℃～31℃	45%	35%	20%
猛暑	31℃～33℃	20%	15%	10%
合計		100%	100%	100%

2. 長期予報 = 「平年並みとなる」(29 ~ 31) 場合

区分	気温	予報精度		
		A	B	C
冷夏	27℃～29℃	20%	18%	15%
平年	29℃～31℃	60%	65%	70%
猛暑	31℃～33℃	20%	18%	15%
合計		100%	100%	100%

3. 長期予報 = 「猛暑となる」(31 ~ 33) 場合

区分	気温	予報精度		
		A	B	C
冷夏	27℃～29℃	20%	15%	10%
平年	29℃～31℃	45%	35%	20%
猛暑	31℃～33℃	35%	50%	70%
合計		100%	100%	100%



8

上図は、冷夏、平年並み、猛暑、それぞれの場合において、A、B、C、それぞれの精度ごとに仮定した的中率を示す表である。例えば、予報精度が一番低いAの場合は冷夏と予報が出て、かつそれが実際に冷夏になる確率が35%になることを示しており、Cの場合には、それが70%の精度に上がると仮定する。

以上が本事例を設定する際に仮定した前提条件である。大江戸社の天候リスクマネジメントにおいては、長期予報を活用しているということにしており、具体的には予報が発表された時点で判明している精度に応じて、期待利益が最も高くなるように生産量を設定することになる。その結果、次図にあるように、実際の最適生産量は予報精度ごとに運営することになる。例えば、予報精度Aの場合で冷夏という予報が出された場合には1億550万リットルが最適生産量になる。逆に予報精度Cの場合で冷夏、精度が高くて冷夏と出された場合、生産量を低く抑えるということになる。

企業の天候リスクマネジメント

大江戸社の最適な生産量は？

1. 大江戸社は、長期予報が発表された時点で、判明している予報精度に応じて期待利益が最も高くなるように生産量(調整前)を設定している(最適生産量)

<「最適生産量」算出方法>

長期予報が発表されると8ページの表から気温の確率分布が求められる(それぞれの区分では気温は一律と仮定、7ページの図2.)。5ページの図の通り、気温と需要量は線形の関係を持つため、気温の確率分布は、需要量の確率分布に置き換えることができる。需要量の確率分布が確定すると、6ページの図から生産量毎に期待利益を計算することができる。ここでは、この期待利益が最も高くなるような生産量を長期予報の種類(冷夏・平年・猛暑)・予報精度毎に求めている。

2. 長期予報の種類(冷夏・平年・猛暑)、精度毎の大江戸社の最適生産量(=期待利益が最大)は次の通りにシミュレートされる

長期予報	単位：百万円		
	予報精度		
	A	B	C
冷夏	105.5	101.8	93.5
平年	106.7	105.4	104.6
猛暑	113.3	117.5	120.4



上図のように、この大江戸社の最適生産量は、長期予報が冷夏と発表された場合には、予報精度が高いほど最適生産量は下がる(無駄をなくすということになる)。逆に猛暑と予報された場合には最適生産量は増加する(品切れのリスクをなくす)。したがって当然のことながら、精度が高いほど冷夏と猛暑の最適生産量に差が開いてくることになるが、この企業の実際の収益性が高まっているのかがどうかが次のテーマとなる。

企業の天候リスクマネジメント

大江戸社の最適な生産量は？

1. 最適生産量

- (1)「冷夏」長期予報の場合、予報精度が高いほど最適生産量は減少
- (2)「猛暑」長期予報の場合、予報精度が高いほど最適生産量は増加

予報精度と最適生産量の関係

予報精度が高いほど、「冷夏」と「猛暑」との最適生産量の差が開く
(ただしあくまでも予報段階)

実際に収益性が高まるか？

ある年における予報精度間の収益性比較



これまでの議論は、あくまでも予報が出された段階で特定の生産量を設定している場合であり、予報を反映した生産量と現実の生産量は別物である。一旦決めた生産量がよかったかどうかを後日検証する必要がある、その時点でこの企業の実際の収益性を考えてみたい。例えば、実際に冷夏になった年において、その年の長期予報がどうであったかを振り返ってみる。精度Aの場合で冷夏と言っていたのかどうか、平年並みと言っていたのか、むしろ猛暑と予報していたのかどうかといった確率、つまり、事前の確率ではなくて、実際に現象が発生した後で、振り返ったときの予報がどういう分布になっていたかという事後確率が問題になる。最初の仮定で予報精度とは、ある予報に対して当該事象が実際に発

生する確率として置いたので、事後確率はベイズの定理²で求められる。事後確率の計算結果は次図に示す。

例えば、精度 A において、実際には冷夏になったケースを考える。その場合には、予報も冷夏だったのは 47% である。一方で、精度 C の場合には、冷夏の場合に実際に予報も冷夏だったケースは 56% に上がる。精度が高いほど、予報と実際との関係が当然高くなっている。実際の効果を検証する際においても一定の事後確率を求めた上で、精度ごとに長期予報を用いた最適生産量や実際の気温分布に基づく需要量が計算でき、この大江戸社の期待利益が計算できる。

天候 リスクマネジメントの効果検証 (1)

実際の天候と予報の関係

1. 例えば、「冷夏」となった年において、その長期予報がある精度 (A・B・C) の下で「冷夏」「平年」「猛暑」であった確率 (「事後確率」) を求める。同様に「平年」となった年、「猛暑」となった年についても長期予報の事後確率を計算

2. 事後確率

< 予報精度 A >				< 予報精度 B >				< 予報精度 C >			
実際の夏季気候				実際の夏季気候				実際の夏季気候			
長期予報	冷夏	平年	猛暑	長期予報	冷夏	平年	猛暑	長期予報	冷夏	平年	猛暑
冷夏	47%	30%	23%	冷夏	50%	35%	15%	冷夏	56%	38%	6%
平年	21%	40%	21%	平年	26%	65%	9%	平年	36%	54%	10%
猛暑	14%	30%	47%	猛暑	19%	13%	68%	猛暑	8%	8%	82%
合計	100%	100%	100%	合計	100%	100%	100%	合計	100%	100%	100%

3. 結果として「冷夏」であった場合、予報精度が高いほど、長期予報も「冷夏」と発表されていた確率は高くなる。「平年」「猛暑」についても同じ。



天候 リスクマネジメントの効果検証 (1)

予報精度毎の期待利益

1. 予報精度 (A・B・C) 毎に、長期予報の事後確率に基づく予報発表段階での最適生産量と実際の気温分布に基づく需要量とを使って大江戸社の期待利益を計算

< 予報精度別「平均利益」算出方法 >

実際の夏季気候が「冷夏」となった場合を想定すると、長期予報で「冷夏」「平年」「猛暑」それぞれの予報が発表されていた確率は 11 ページの事後確率表で示されている。長期予報が「冷夏」「平年」「猛暑」の場合の最適生産量は、予報精度毎に 9 ページの表から求められ、その最適生産量の下で実際に「冷夏」となった時の期待収益は、6 ページの図から計算することができる。長期予報が「冷夏」「平年」「猛暑」それぞれの (実際の夏季気候が「冷夏」の場合の) 期待利益に、11 ページで示された事後確率表の確率を用いて加重平均を取ることにより、実際に「冷夏」となった場合の、期待利益は予報精度毎に計算することができる。実際の夏季気候が「平年」「猛暑」の場合も同様に期待利益を求めると下表の通りとなる。

2. 実際の夏季天候 (「冷夏」「平年」「猛暑」) における期待利益額

単位：億円				
予報精度	実際の夏季気候			精度別平均利益
	冷夏	平年	猛暑	
A	21.71	29.53	34.09	28.71
B	21.96	29.57	34.18	28.82
C	22.53	29.60	34.23	28.99



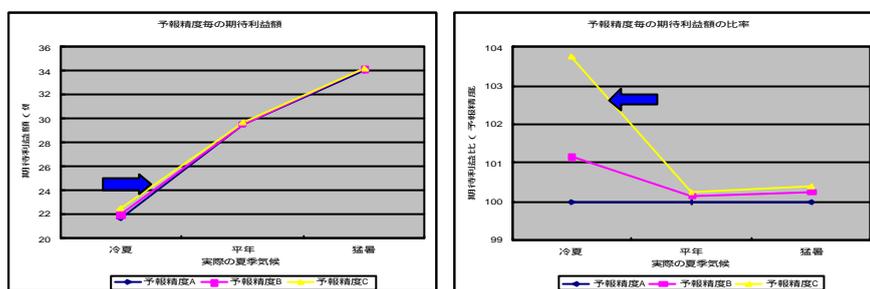
上図はその計算結果である。実際冷夏であった場合で予報精度が A の場合、A においては、この会社の期待利益が 21.71 億円であることを示している。実際猛暑だった場合には、予報精度が A の場合には 34.09 億円となる。それぞれの精度ごとに冷夏、平年並み、猛暑は実際には 25%、50%、25% といった確率で出ると仮定しているの、それを加重平均する、一番右のように、精度別の平均利益が計算できる。

² 本節末の説明参照

下図は、計算結果をグラフにしたものである。ひとつは、精度ごとに期待利益が、実際に冷夏だった場合、実際平年並みだった場合、実際猛暑だった場合に分類している。それぞれに実際の気候を横軸にとり、縦軸に期待利益をとっている。左側のグラフでは、冷夏になって各精度間に少し差が開いていることがわかる。その差をもう少しよく見てみるために右側のグラフで指数化している。矢印で示す線が予報精度Cを示しているので、今回の前提のもとでは、冷夏の場合に予報精度C、つまり予報精度が高くなるにしたがって期待利益が上がってくるものといえる。

天候リスクマネジメントの効果検証(2)

予報精度毎の期待利益額グラフ

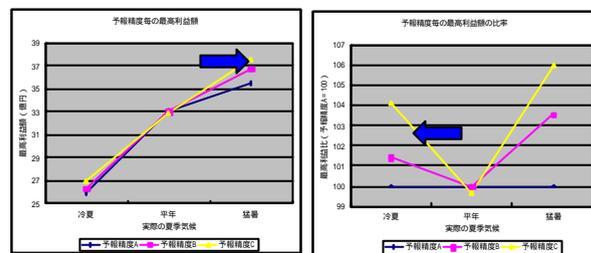


更に、期待利益の他に、最低利益の場合や最高利益の場合を考えてみたい。最高利益の場合も期待利益の場合と同様、予報精度A、B、Cと精度が高くなるにしたがって、最高利益の出方が高くなるということがいえる。つまり予報が当たることが多い場合であるため、当たる確率が高くなるにしたがって無駄のない生産量を設定していることになり、利益水準も高くなっている。

天候リスクマネジメントの効果検証(3)

予報精度毎の最高利益

設定最適生産量に対して、「冷夏」平年」「猛暑」それぞれの天候において利益が最も高くなる場合



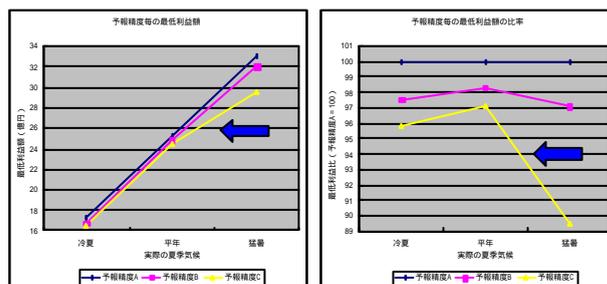
予報精度Cの利益が他の予報精度に比較して高くなるケースは、長期予報と実際の夏季気候が一致したときであり、精度は高い。

15

天候リスクマネジメントの効果検証(4)

予報精度毎の最低利益

設定最適生産量に対して、「冷夏」平年」「猛暑」それぞれの天候において利益が最も低くなる場合



予報精度Cの利益が他の予報精度に比較して低くなるケースは、長期予報と実際の夏季気候が反対(冷夏と予報 猛暑 猛暑と予報 冷夏)となった時であり、精度は低い(一致する確率の7分の1)

16

る。ただし、このケースが発生する確率は極めて低く、このケースが起こること自体は少ない。ただ、確率は低いものの、精度が高いほど最低利益の落ち幅が大きくなることが考えられる。

今までの内容を簡単にまとめると、次のようになる。予報精度が向上すれば、期待利益は上がる。これは精度向上の効果といえる。長期予報を利用して、その予報に基づいて期待利益が最高になるように生産量を設定していれば、精度向上によって期待利益というものが増加することになる。最高利益も増加することになる。一方で、最低利益は逆に低下してしまう。ただし、低下するケースの確率そのものは低くなるといえる。

ここから言えることのひとつは、期待利益で見ると、冷夏、平年並み、猛暑のいずれの場合も、冷夏になれば利益水準が低くなる。需要量が低いため、予報の精度にかかわらず、冷夏の場合は企業収益が絶対的に低下する。このことは、大江戸ドリンク社自体の持っている本源的な冷夏リスクということになる。この場合、精度の如何にかかわらず、冷夏になれば売上げが減少して利益が下がることが予想されるため、これに対するヘッジのニーズがあることを示唆している。長い期間で見れば、毎年平年並みということではなく、冷夏の年は必ずありうるのである。

このような会社の場合には、以下のような対応が考えられる。冷夏に対するヘッジとして、平均気温が 29 を下回った場合に、1 につき 4 億円、最大 8 億円、受け取る事が可能となるような天候デリバティブを活用する。これによって、次図の右側にあるグラフ（期待利益額と夏期気候の関係）に示すように、冷夏の程度に応じて

天候リスクマネジメントの効果検証（5）

まとめ

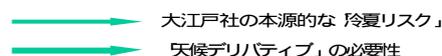
予報精度が向上すると・・・



天候の変動と企業利益

長期変動は変えることができない

「冷夏」の年は、予報の精度向上とは関係なく、企業の期待利益は大幅に減少する



冷夏の年は必ずある



天候デリバティブの効果（1）

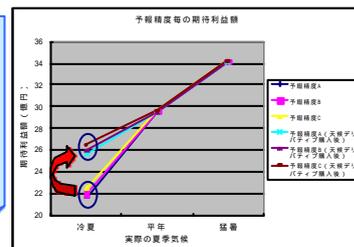
大江戸社の冷夏リスクヘッジ

天候デリバティブを購入することにより、大江戸社は冷夏となった時の利益減少を緩和することができる

<天候デリバティブ設計例>

平均気温 < 29
4 億円 / 1
最大受取額 8 億円

(注) 長期予報発表前に購入「冷夏」予報発表後であると、予報精度が高い程プレミアムが影響をうけやすくなる



ヘッジ効果が現れる。これは、予報精度とは直接には関係のない対応であり、むしろ予報が発表される前に早目にこのような手当てをすることが可能な対応である。

(2) 長期予報の精度向上が天候デリバティブ(市場)に与える影響

一方で、予報の精度が向上すると、逆に外れたときの影響が大きくなり、最低利益が低下することになる。この場合2つのケースが考えられる。ひとつは、予報が猛暑であったにもかかわらず実際は冷夏になるケースであり、もうひとつは、予報が冷夏であったにもかかわらず実際は猛暑になるケースである。今回設定した例においては、2のケースにあたり、猛暑になったことにより品切れになってしまう方が大きなロスになるというケースであった。これは、設定した企業の利益構造にも依存するものであって、実際は前提の置き方によって変わるものである。本事例では、長期予報が発表に応じて、企業が生産量を設定できる前提を置いて

るが、場合によっては予報が外れることも考えられる。長期予報を活用せずに常に平年並みを念頭に置いた場合よりも「方向性のリスク」が生じているといえる。その際には、予報の精度が高ければ高いほど、外れた場合のダメージが大きくなるため、予報が発表された後に、いわば外れリスクに対してヘッジする必要性、あるいはヘッジを組む機会が生じるのではないかと考えられる。

例えば、予報が冷夏であったにもかかわらず、実際には猛暑になってしまったケースに対してデリバティブを活用してみよう。冷夏の予報に反して平均気温が31以上の猛暑になった場合に対して、受け取りを最大2億円とするデリバティブを掛けておけば、次図の右側のグラフにあるように、最低利益が2億円は嵩上げされることになる。この様なケ

天候デリバティブの効果(2)

精度向上のリスク

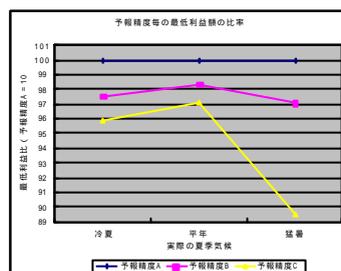
予報精度が向上すると、最低利益は低下してしまう
(予報が外れた時の影響が大きいため)

ケースとしては、

- 1) 長期予報が猛暑を示しながら実際には冷夏となるケース
- 2) 長期予報が冷夏を示しながら実際には猛暑となるケース
(今回のモデルでは、2)の方が影響大)

精度向上の利益は維持しつつ

「冷夏」「猛暑」の長期予報発表後予報とは逆の天候となることによる利益低下リスクのヘッジの必要性



20

天候デリバティブの効果(2)

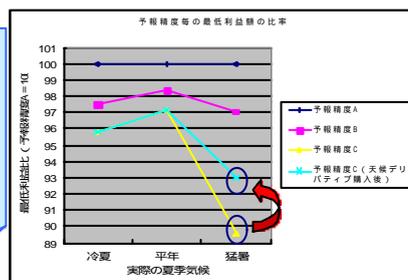
「猛暑」(予報は「冷夏」)リスクヘッジ

長期予報が「冷夏」の場合、天候デリバティブを購入することにより、大江戸社は「猛暑」となることによるリスク(機会利益の喪失)をヘッジすることができる

<天候デリバティブ設計例>

平均気温 31
最大受取額 2億円

(注)「冷夏」の長期予報発表後であり、予報精度が高ければ、プレミアムも抑制できる可能性あり



21

ースに見られるように、予報の精度が事前にわかっている場合には、精度が高ければ高いほど、実際に当該ケースが生じる確率は小さくなると考えられるため、プレミアムそのものも低く抑えられる可能性も生じるのである。

以上、天候デリバティブの活用の方法で考えられる事例を2通り掲げたが、特に後者の予報精度との関係では、いくら精度が向上したとしても100%の精度は当面ありえないと考えられる。予報精度が35%から70%といった具合に向上すれば、天候デリバティブの価格を構成する不確定要素に対して支払われていたリスクプレミアム部分が屈辱上縮小する効果が期待される。また、その際に企業にとってみれば、予報通りになることで利益の把握が可能になる。一方で、予報が

外れた場合には、逆に損失が生じるといった「方向性のリスク」を企業が保有することになり、どのようなリスクヘッジ手法を採用したらよいかといった点を検討しやすくなるのである。予報精度の向上がもたらす影響を考える上で、もうひとつの側面は、予報の発表前後で

予報精度と天候デリバティブ

予報精度が向上すると、天候デリバティブは・・・

不確定要素が少なくなる分、価格（に占めるバッファ）は下がる。

企業にとってのリスクが把握しやすくなり、天候デリバティブへのニーズも明確に（予報的中リスクvsはずれリスク）

予報発表前後で価格が変わる可能性

天候デリバティブ市場の厚み
トレーディング（市場取引）の開始

（短期間になればなるほど、予報精度は高まり、上記傾向が強まる）



天候デリバティブの価格が変わる可能性が生じることである。予報の精度がわかっていて、それに基づいて天候デリバティブが売買されることになれば、予報発表の前後で価格が変わる可能性が高い。その場合には、正確な予報により将来の不確定要素が排除される分デリバティブ自体の価格が低下をする効果がある一方で、予報の示す内容自体が価格を上昇させることもありうると考えられる。即ち、高い予報精度で冷夏が予報された場合で、かつ、冷夏ヘッジを市場参加者が希望した場合にはデリバティブの価格が上昇する可能性があることになる。

このような状況が出現すると、予報と天候デリバティブの価格との連動性が生まれて、一定の価格水準が次第に生じてくる。先の事例における本源的な冷夏リスクに対するヘッジニーズに対応する価格が、実際の予報がでた後、夏に近づくにつれて変化していく可能性が生じる。そうすると、価格変動を狙った投資家の参加によって、市場内の取引が活性化されることになり、市場そのものに厚みが生まれる。このような流れで、天候デリバティブ市場に予報精度の向上による影響がでてくるのではないかと考えられる。

(3) 企業の天候リスクマネジメント向上のための課題

以上のように、大江戸ドリンク社という架空の企業に対し、幾つかの前提を置いて、予報及び予報の精度と当該企業の期待利益を分析してきたが、実際に置いた前提条件が満たされないケースも充分考えられ、現実的にはなかなか難しい面も多い。ここでその重要な前提条件についてもう一度確認しておきたい。今回のケースでは、現在の公表の仕方とは異なり、長期予報そのものを3つのパターンに明確に分けている。即ち、「冷夏」、「平年並み」、「猛暑」、といった言い切り型の予報の出し方を仮定することによって精度が定義できるわけである。予報精度が事前にわかるという前提の下に展開すると、当たり外れのリスクについてもある程度議論ができるということである。

また、大江戸ドリンク社に設定した前提条件について、現実には即したものにしていくなかで何が必要かという観点から長期予報に求められる課題について考えてみたい。当社のリードタイムについては3か月と置いた。更に、天候そのものや予報の中身も単純化しており、実際の企業においては固有のニーズがあり、それに合わせた情報ニーズが増えてくるものと考えられる。そのような現実にあって、まず、予報の精度を計算するためには、予報の発表方法をより断定な表示方法や、なるべくひとつの事象を特定するような表現にしていく必要がある。例えば「異常気象が発生する確率は極めて低い」と発表されても、実際に異常気象になった場合、それは外れたとは言いきれないといったテーマがある。たとえ1%の確率でも起こる可能性があるとなれば、予報の精度がどうだったかを議論することが難しくなる。その他、情報提供するには企業の個別ニーズに応えるために、具体的な細分化したニーズが出てくることになる。地理的な細分化、要素の多様化、期間の細分化、発表のタイミングを増やして欲しいといったリクエストなどである。また、精度の問題がクリアされれば、生産計画を決める上での一計算根拠として材料に用いられることになるのである。

今後の課題

企業の天候リスクマネジメントに活用できる長期予報とは？

1. 相対的文章表現 (やや高い) など
→ 確率分布ベース
→ できればピンポイントに近い表示
2. 予報精度が把握・検証できる表示方法 → 現実に即した表示 (確率1%での異常気象発生予報時の、実際の異常気象発生は的中かはずれか?)
3. 企業のリスクマネジメントに必要な情報提供
地理的区分の細分化 (地方 「都市名」)
気象要素の多様化
予報対象期間の細分化 (月単位 「週単位」)
予報発表のタイミング 頻度の多様化 増加
検証 精度の明示

最後に、リードタイムの問題について考える。例えば電力会社の場合、実際にはリードタイムが無いに等しい³。需要と供給のずれがない場合には精度に対するニーズの問題は基本的にはなくなる。需要があればあるだけ供給するという前提に立てば、冷夏なのか、猛暑なのかによって販売量が決まり、それによって利益水準も決まってくる。そういう意味で、あくまでも本源的なリスクヘッジのニーズが中心になると考えられる。

今後の課題

企業の生産リードタイムと長期予報の関係

1. 生産リードタイムのない事業（電力事業など）
 - 需要とのずれがないことから予報精度向上の影響小
 - 「冷夏」「暖冬」等本源的リスクのヘッジ
2. 生産リードタイムがある事業（貯蔵・保管可能製品）
 - 的確な需要予測のためのリードタイム短縮努力
 - 短期になる程、予報精度は高い
 - 予報を取入れた生産計画 → 期待利益の向上
 - 予報のはずれリスクに対するリスクヘッジニーズ

予報の活用度、
予報対象期間および生産リードタイムに応じた
天候デリバティブ活用の広がり



25

ただし、この場合、気温と需要との関係を量の問題として見ているが、価格そのものも需給関係によって変化するとことになると、もうひとつ前提条件が加わってくることになる。もし価格も変わるということになれば、価格に対するリスクヘッジの必要性が生じると考えられる。その場合には、予報そのものの精度が高いことから、市場の価格と天候や予報の連動性が明確になっていく状況が予想される。

一方で、リードタイムがある普通の製造業の場合を想定してみる。通常、このような企業では、取扱う商品や製品が貯蔵や保管が可能な場合が多い。一般的に予報精度は短期になればなるほど高くなるということが言えるため、精度の高い短期の予報に合わせてリードタイムを短くすれば、より今回の事例に近い設定や計画が可能になると考えられる。リードタイムの短期化によって、期待利益が上昇することになれば、実際の企業にとっては、本源的なリスクに対するヘッジニーズよりも、むしろ外れリスクに対するヘッジニーズの方がより効率的なヘッジ手法と評価することになるのではないかと考えられる。

以上が三井住友海上火災保険（株）委員による説明であるが、この内容を振り返りなが

³ いわゆる電力の需給調整で不可欠とされる「同時同量」のテーマ。電力の需要と供給が常にバランスしていないと安定的な電力の供給が保てないことを意味する。

らまとめる。

企業が長期予報を活用して経営・財務戦略や生産・販売計画を立てるようになると、長期予報が的中する限りは、その企業は需要変動に応じた効率的な（無駄のない）生産・販売活動を通して収益性を高めることができる。長期予報の精度が高まるほど、それを利用する企業の収益性は高まるといえる。一方、長期予報は外れてしまうことも考えられる限り、その企業は、長期予報を活用せずに常に平年並みを念頭に置いた場合よりも「方向性のリスク」を持つこととなった。特に長期予報が、冷夏・暖冬等平年に比べ強い異常気象傾向を予測した場合に当該リスクが生じると考えられる。この「方向性のリスク」は、長期予報の活用による収益構造の改善を図る上で必然的に伴うリスクといえる。この収益構造の下ぶれを一定に抑え、長期予報の活用を促すのが天候デリバティブの役目である。即ち、企業は気象予報の活用によって収益性を高めつつ、天候デリバティブ（主としてオプション契約）によって、収益構造における「変動」について、一定のコストを払って「固定」化した姿に変換することができる。したがって、長期（3～6か月）に対する天候デリバティブは、企業の収益構造との関係において、長期的な視点から毎年恒常的に検討されるべき財務戦略上の手段といえよう。

【ベイズの定理の解説】

事象 $C_i (\in B) (i=1,2,\dots)$ が交わりがなく、 $\bigcup_{i=1}^{\infty} C_i = \Omega$ であり、かつ、 $P(C_i) > 0 (i=1,2,\dots)$ で

あるとし、事象 $B (\in B)$ は $P(B) > 0$ であるとする。

このとき、

$$P(C_i | B) = \frac{P(B | C_i)P(C_i)}{\sum_j P(B | C_j)P(C_j)} \quad (i=1,2,\dots)$$

となる。

$P(C_i)$ を C_i の事前確率、 $P(C_i | B)$ を B が生じた時に C_i の事後確率という。この定理は、事前確率と条件付確率 $P(B | C_i)$ から事後確率 $P(C_i | B)$ を求めるための公式を与えている。

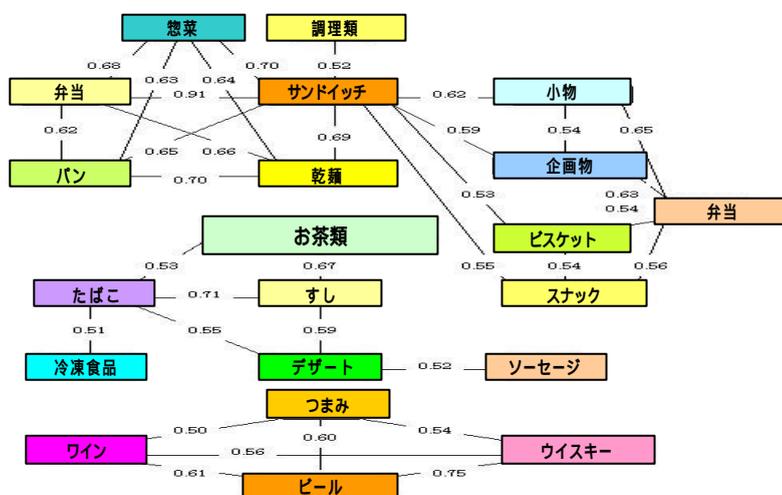
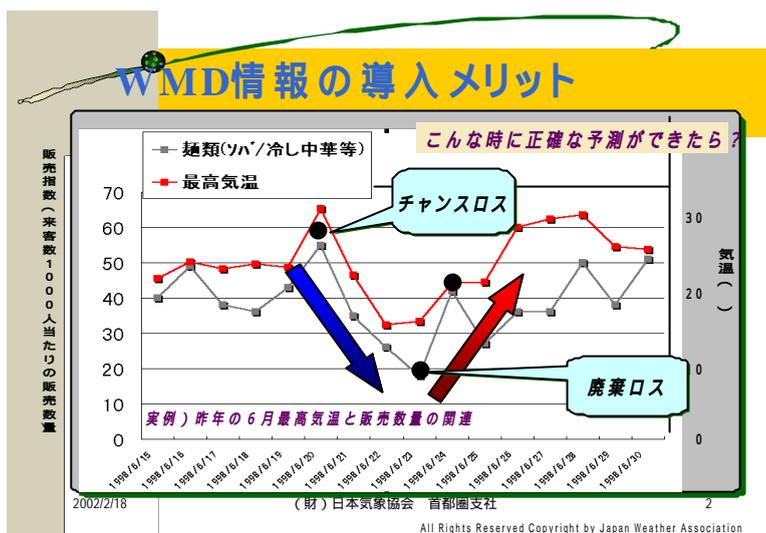
2. 中長期気象予報の活用に関する一考察

中長期の気象予報を活用するためにはその特性を理解した上で、それに応じた活用方法を検討する必要がある。中長期気象予報の活用方法の一考察として、(財)日本気象協会⁴の委員から説明があった。

(1) 中長期気象予報関連サービス

(財)日本気象協会では1985年以来、週間天気予報あるいは1か月予報を企業の販売、生産あるいは在庫管理に活用するウェザーマーチャダイジングの支援サービスを提供している。以下にその例を示す。

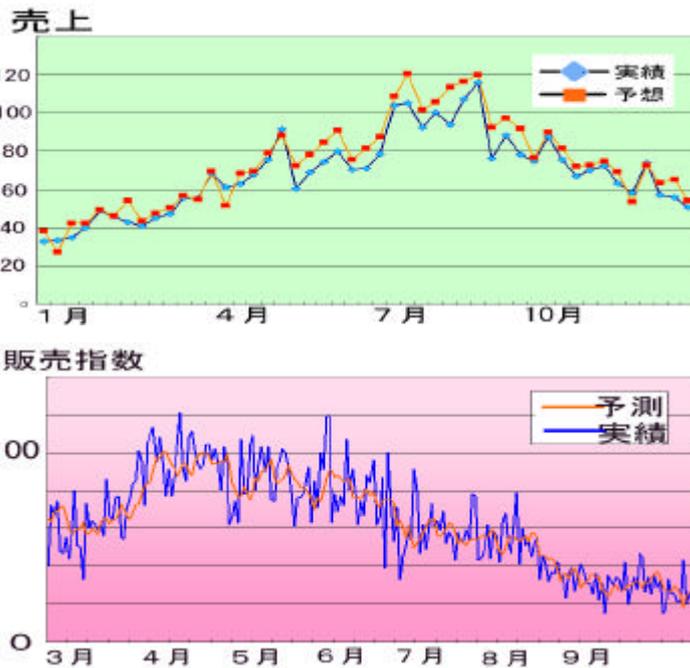
1つ目のグラフは1日の最高気温と蕎麦の販売動向を分析したものである。また、2つ目の図はスーパーあるいはコンビニエンスストアなどでの様々な商品間における売行きの間接関係を示したものである。商品相互間の売行きに関する相関を分析した上で、その中に含まれるある商品の売行きと気象との関係が分析できれば、他の商品についても売行きと気象とを関連付けられる。



● 分析分類間の販売実績の相関関係

⁴ (財)日本気象協会は、国土交通省所管(所管部局:気象庁)の公益法人であり、気象知識及び防災思想の普及、気象に関する観測、予報、調査及び研究並びにその受託、気象観測、予報及び調査に関する技術指導を主な事業としている。

さらに右の両グラフはこうした手法に基づく予測と実績を対比したものである。日本気象協会では販売と気象との関係を予め分析し、その結果に基づく販売予測情報を提供するというサービスを実施している。ただし、現時点ではアンサンブル予報ではない単一の気象予報に基づいた販売予測を行っており、その結果販売予測自体も単一なものとなっている。本来は確率分布で表示することが妥当と考えられ今後の課題である。



この他、日本気象協会では中長期予報の解説や現在予報業務が許可⁵されている1か月までの予報に関して、独自の予報をウェブ上に提供している。また、本研究会でも話題となっている天候デリバティブに関する支援サイトも提供している。以下、参考までにこれらのサイトの事例を掲載する。

長期予報情報 Web サイト

⁵ 気象庁以外の者が予報の業務を行なう場合は、気象業務法により、気象庁長官の許可を受けなければならない。予報の期間としては、現在1か月先以内の予報に限って許可対象となっている。

- 1・2・3・4週別、1ヶ月単位の気象官署の、気温・降水量・日照時間を予測します。



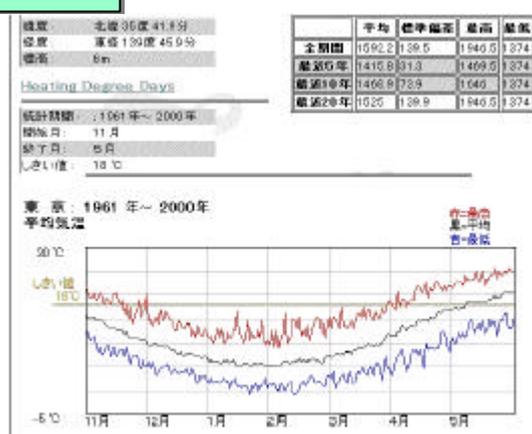
Weather Derivatives Web Site

Weather Derivatives Web Site

Weather Derivatives Web
By Japan Weather Association, 2007

累計年（ヒストリカル）データ検索（過去40年間）
CDD / HDD、降水量（日数）、降雪量（日数）、風速（日数）などを一定の条件設定（〇〇ミリ以上の日数など）に基づき検索
気象予報（週間 1ヶ月、3ヶ月など）
海外データ（常に最新データにアップデート）

東京のHDD

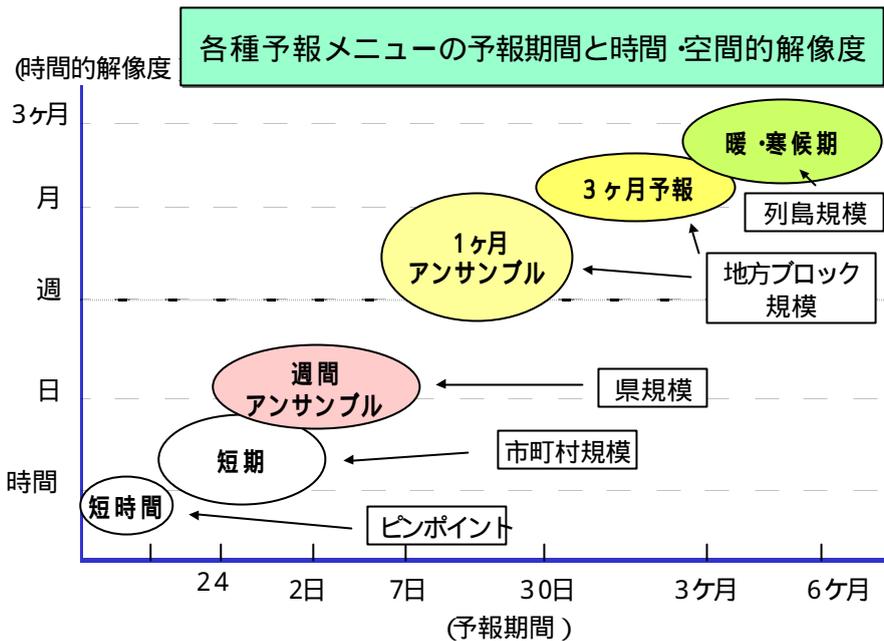


(2) 気象予報の利用にあたっての基礎的事項

気象予報に対する企業のニーズは多種多様であるが、一般的には時間的、空間的解像度の高い予報を要求される。ここで時間的解像度に対する要求とは、例えば1か月予報を日単位で必要というものであり、また空間的解像度に対する要求とは都市単位の1か月予報が必要というようなことである。また、当然ながらより精度の高い予報に関するニーズは強い。これは例えば気温に関する予報を1単位で欲しい、降水量の予報を1ミリ単位で欲しいというニーズである。

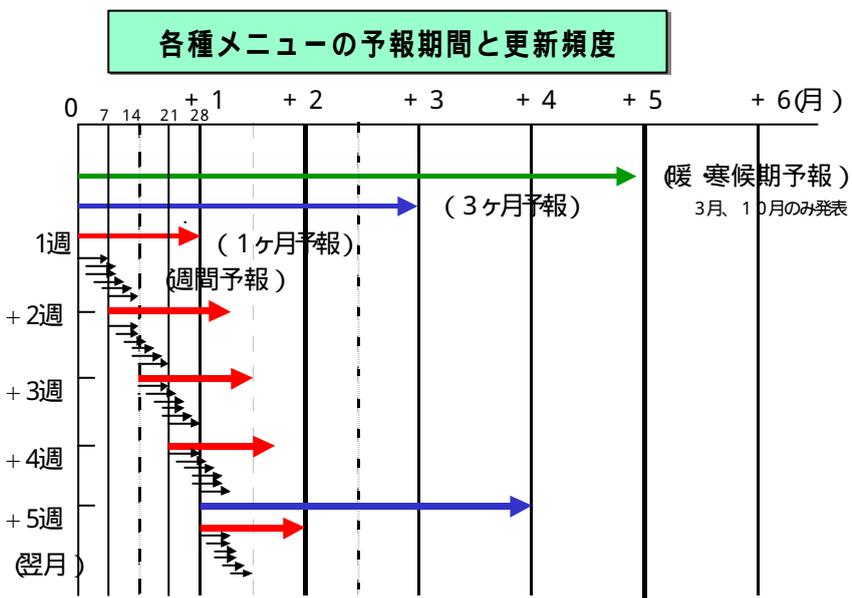
一方で気象学の見地からは、一口に予報といっても対象とする期間や予報の手法によってそれぞれ特性が異なる。本来利用者はその特性を理解したうえでその特性に応じた利用を行うべきである。ここでは気象予報を利用するにあたっての基礎的事項を整理する。次図は気象庁からどのような予報が提供され、時間的・空間的にどのような解像度があるかを示したものである。横軸は予報の予報期間を示しているが、例えば中央付近にある「1か月アンサンブル」と書かれた予報では、1週間前から1か月先までの約3週間をこの予報がカバーしていることを示している。同様に週間アンサンブルでは、明後日以降1週間先までがこの予報の対象期間となる。縦軸は時間的な解像度を示しており、1か月アンサンブル予報の解像度は週単位から月単位程度しかないことを意味している。したがって1

か月先の予報を1日単位で欲しいというニーズには応えられない。1か月先の気温であれば、せいぜい週の平均がどの程度になるか、という情報までしかこの予報からは得られないというのが現状である。また、「地方ブロック



規模」という囲みから「1か月アンサンブル」に矢印が伸びているが、これは1か月アンサンブル予報の空間的解像度が地方ブロック規模であることを意味している。言い換えれば、都市別や県別の予報は出せないということである。

さらに右図は各種の予報の更新頻度とそのタイミングを示したものである。一番上の暖・寒候期予報は6か月先までをカバーしているが、同時に3か月予報、1か月予報および週間予報が提供される。週間予報は毎



日、1か月予報は1週間ごと、さらに3か月予報は1か月ごとに更新される。この関係を示したものがこの図である。気象予報の利用に際しては、各予報間の関係を理解することが重要である。

なお、気象庁が発表している予報をその手法・モデルに焦点をあてると次のようになる。

予報メニューと予報モデル

短時間予報：降水現象の運動傾向の外挿 + 数値予報 (MSM)、5 kmメッシュ

短期間予報：数値予報 (領域モデルRSM) 単一予報、約 20 km 格子

週間予報：数値予報 (全球モデルGSM)、アンサンブル予報
25通りの予測、約 250 km 格子で出力

1ヶ月予報：数値予報 (全球モデルGSM) アンサンブル予報
26通りの予測、約 250 km 格子で出力

3ヶ月予報：統計的手法、確率的表示

暖・寒候期予報：統計的手法、見通し情報

エルニーニョ予測：数値予報 (大気海洋結合モデル)

なお、アンサンブル予報のメンバー数が週間予報と1か月予報で異なっているのは、モデルを運用する際の技術的な事項であり、本質的な差ではない。

(3) 中長期予報の有効利用に向けて

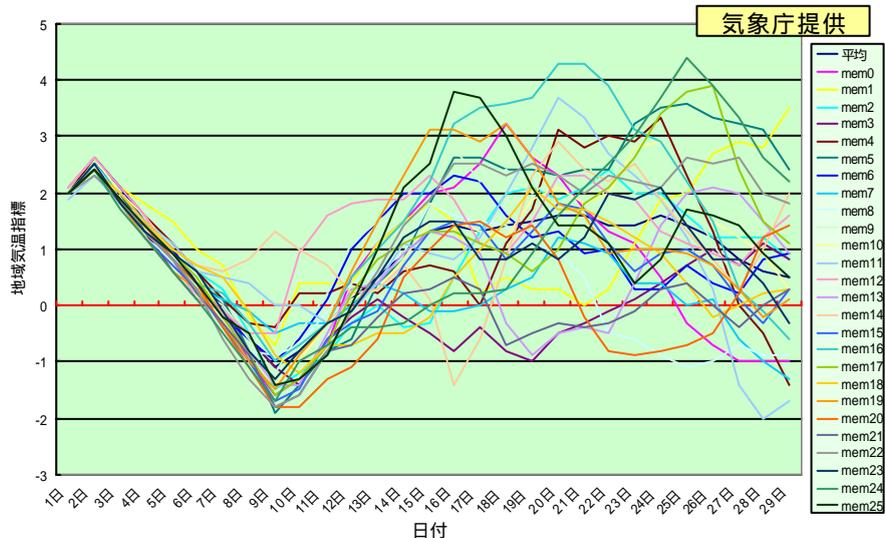
< 1 > アンサンブル予報の特性

中長期予報を有効利用するという観点からは、今後の長期予報における予報技術の中心となるアンサンブル予報について、その特性を十分理解したうえでその利用方法を考えることが重要である。気象庁から一般向けに発表されている予報は26通りの予報を平均したものであるが、その

元データを加工することにより様々な形式による予報情報を提供できる。

右のグラフはその一例でアンサンブル予報の26通りの予報を時系列にグラフ化したものである。予報期間の前半はどのメンバ

アンサンブル数値予報の実例



もほぼ同様の傾向を示しており、第1週目は全般的に気温が高く、第2週目は低め、その後バラツキは大きくなるものの全体としては気温が高い状態になる。このグラフをある時点で切ると、その断面はその時点における気温が取るであろう値の確率分布を示していると解釈できる。例えば1週目においてはある特定の気温になる確率が非常に高くなる一方、予報の後半では気温が示すであろう値は一定の幅に広く分布するようなイメージになる。アンサンブル予報の元データは(財)気象業務支援センターを經由して民間気象事業者も入手可能である。その内容をまとめると右のようになる。これらの配信データ自体は空間的に非常に離散的であるということに注意が必要である。したがって、個々の地域の気温などを予測しようとした場合、上空の数点における気温情報からこれを推定する作業が必要になる。

アンサンブル数値予報資料の提供

- 現行1か月予報モデルの例
 - 提供間隔 毎週1回(金曜日)
 - 提供内容 1か月予報モデルの予測結果
 - 予測期間と時間間隔: 34日間・1日間隔
 - 格子系(予測データの地図上の配置)地球全体緯度経度2.5°毎
 - 気象要素
 - 地上: 気圧、積算降水量
 - 上空(850hPa 約1500m上空) 高度、風、気温、相対湿度
 - 同(500hPa 約5000m上空) 高度、風、気温
 - このほか上空200hPa、100hPa
 - (注)上空の高度は地上の気圧に相当、上空の気温から地上の気温傾向を予測することが可能。
 - メンバー数 26メンバー(26通りの予測結果)
 - 1回あたりデータ量 約 200MB

< 2 > 企業における天候リスク分析の必要性

以上のような気象予報を企業のリスク管理に利用するためには、個々の企業における事業活動と天候との相関について分析がなされていることが前提となる。ここで重要なのは一口に天候と言っても、それぞれの企業の事業に影響を与える気象は、地理的な条件や気象要素そのものに関しても多様であるということである。また、相関の分析も定性的なものでなく、あくまでも定量分析が必要である。このため天候リスクの分析においては、企業と気象専門家の共同作業が必要であり、さらに高度な分析のためには統計分析の専門家の協力が必要な場合も想定される。

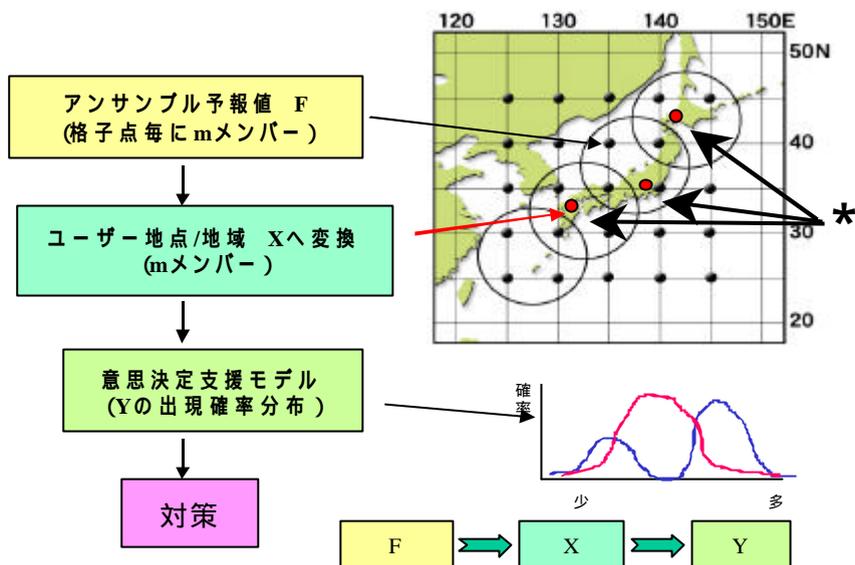
< 3 > アンサンブル予報を利用した天候リスク評価モデル

天候リスクの評価のために最終的に欲しい情報は、天候の変動に起因する企業の売上や収益の変動に関する将来予測である。これを求めるためにはリスク要因の抽出と、抽出された要因と売上、収益との相関分析が必要であることは前述のとおりであるが、さらに将来予測のためには気象予報とこれら分析結果を結び付ける作業が必要になる。いわゆる統計的手法による予報は、確率的な表現は用いているが明確な数値情報にはなっていない。したがって合理的に気象予報と分析結果を結び付けることは不可能であった。しかしこれがアンサンブル予報に移行することにより、気象予報を、確率分布をもった数値情報とし

て提供することが可能となる。

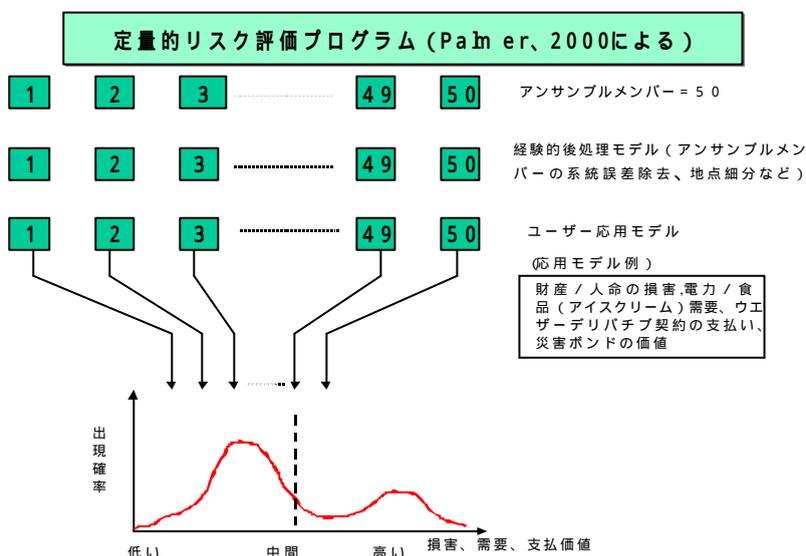
天候リスクをリスク要因とした場合の企業収益の変動を示した確率分布を (Y)、これと直接リンクする気象要素の将来のある時点 (期間) t における確率分布を (X)、さらにアンサンブル予報

から直接的に得られる気象要素の将来のある時点 (期間) t における確率分布を (F) とする。個々の企業を見た場合、(X) は非常に個別である。すなわち特定の地点における HDD / CDD、晴れ日数など、様々である。これに対して



(F) は予め定められた格子点上の特定の気象要素に対してのみ計算される。したがって、まず (F) から (X) への変換作業が必要になる。このためには予め過去のデータにもとづいて両者間の変換式を確立しておく必要がある。さらに (X) から (Y) への変換も

同様に過去データに基づいた分析が必要である。以上の過程を経ることにより、アンサンブル予報に基づいた、企業収益の変動に関する確率分布が算出される。具体的なイメージは右上図のとおりである。地図上の黒丸がアンサンブル予報の格子点で、この点上で 26 通り



りの計算結果が算出される。そして企業が実際に欲しいのは例えば地図上の * 印の地点における特定の気象要素に関する確率分布である。

同様のことは海外でも提言されており、上図は E C M W F ⁶Newsletter No.88 で紹介され

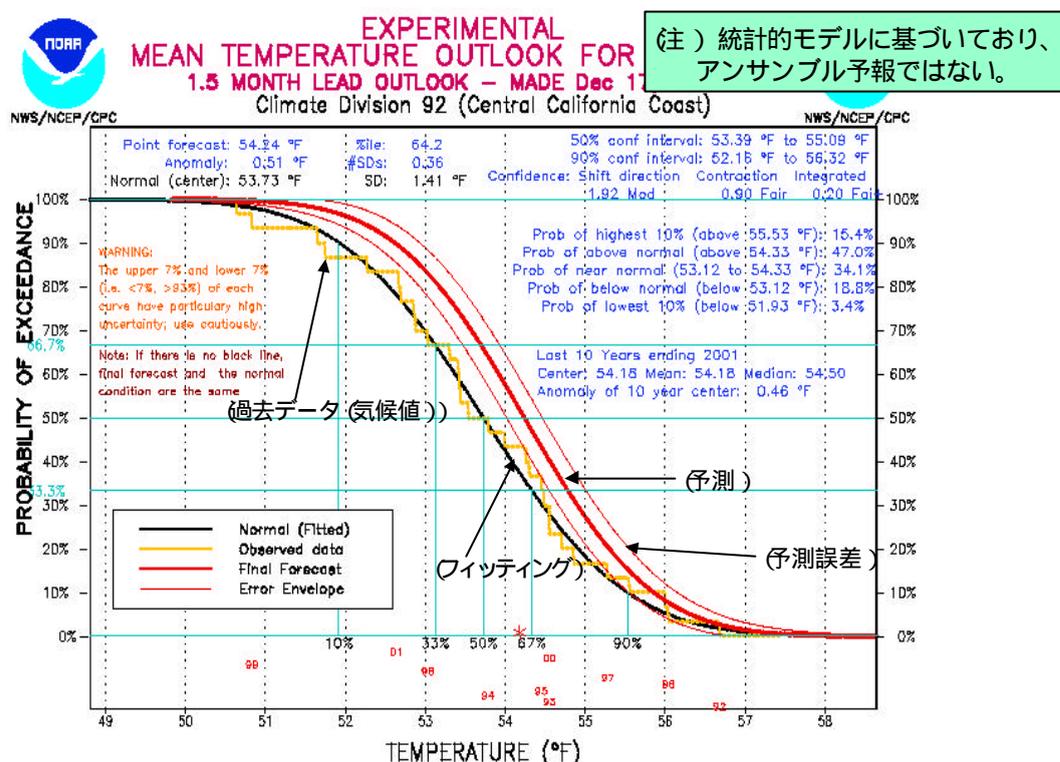
⁶ The European Center for Medium-Range Weather Forecasts:ヨーロッパ中期気象センター

ているものであるが、趣旨はまったく同じである。従来の予報手法では確定的な1点、すなわちグラフに示された破線の状態であったので、経営上の意志決定には使いづらい。

< 4 > 超過確率の予測例

米国において、確率分布で表現した長期予報を実験的に発表している例があるので紹介する。ただし、本例はアンサンブル予報ではなく、統計的手法に基づくものである。

確率的予報の応用例 (米国気象局の3ヶ月平均気温の超過確率予測実験)



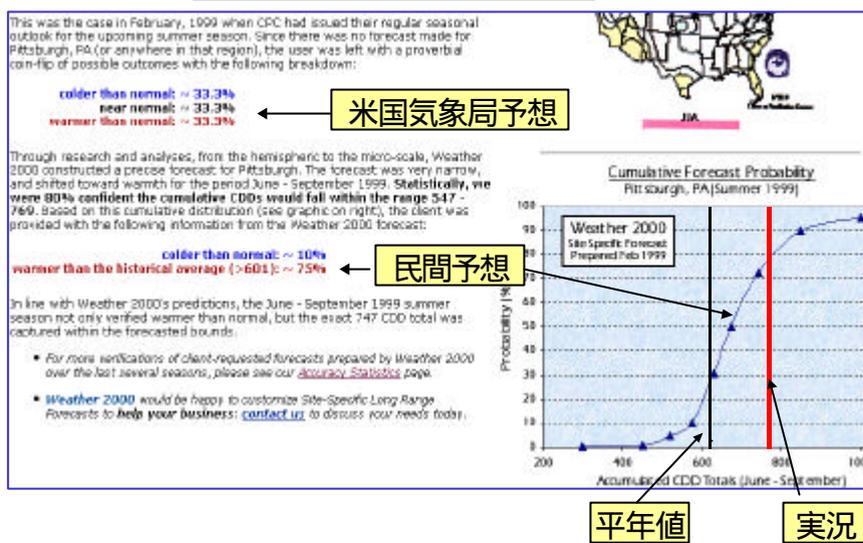
上のグラフは米国環境予測センター（NCEP）がホームページ⁷上で発表しているものであるが、1.5 か月先の向こう3 か月間の平均気温に関する予報を超過確率の形で示したものである。横軸は華氏での気温、縦軸が超過確率である。階段状の線は過去の実測値を示している。これを最適フィッティングして滑らかにした曲線で示している。そして太目の実線が統計的手法に基づく予測値でその両側の細い実線は誤差の範囲を示している。いわゆる「平年並」という気候を超過確率が33%～67%の範囲、33%以下を「平年より低い」、67%以上を「平年より高い」とすると、この例では53° F～54.5° F 辺りが平年並の気温で、この予報により出現確率は約40%、平年よりも低い確率が約20%、平年よりも高い確率が約40%というように読み取れる。日本においては現在、この最後の結果しか発表され

⁷ <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/pacdir/NFORdir/NHOME3.html>

1点での予報となり、この図でいうと のラインのイメージになる。アンサンブル予報を確率的な表現で発表すると図の の曲線あるいは の曲線のイメージとなる。アンサンブル予報の各メンバのバラツキが小さければ、大きければ のような形になり、予報としては がより望ましい。

民間気象会社が、公的機関が発表したデータをもとに独自に予報を発表している米国の例を示したものが、次図である。この例では米国の海洋気象局の予報では、「平年より低い」、「平年並」および「平年より高い」という確率がそれぞれ33%となっており、実質的に役に立たない予報結果になっている。これに対してこの民間の会社はグラフの曲線のような予報を発表した。グラフの左側の縦線が平年値であるので、

民間気象事業者の活動例



平年値を上回る可能性が75%程度という予報になっている。結果としてはグラフの右側の縦線となったので、この会社の予報は気象局よりも精度が高かったということになる。

(4) まとめと今後の課題

中長期予報は短期予報に比べて精度は低いが、今後予報手法の主流となるアンサンブル予報の特性を生かし、予報値を確率分布で表現する、あるいは気象庁としてはアンサンブル予報の生データを提供し、民間気象会社がこれを活用した独自の予報を行うことによって、企業の天候リスクマネジメントに十分活用できる可能性を持っている。

気象予報を企業の天候リスクマネジメントに活用するためには、過去の気象データおよび企業の財務データ等との関連性分析が不可欠であり、より精度の高い分析を行うためには企業の事業内容、気象学および統計分析手法に関して専門的知識を持つ人材がこれを行うか、あるいはそれぞれの専門家が連携して分析にあたる必要がる。

さらに天候リスクの事前評価や実況確認のためには過去の気象データが重要なファクターとなるので、引き続き観測データの整備ならびにその品質管理が望まれる。

以上が、(財)日本気象協会委員による説明である。民間気象事業者は、気象そのもの

についても深い見識を有しており、またこれまで短期の気象予報を活用するものが中心ではあったものの、実際に企業の天候リスク分析の支援を行っている。この業務を通じて企業側のニーズもある程度把握しており、今回の研究を進めるにあたり貴重な意見を聞くことができた。ここで指摘された種々のポイントについては、「 ．まとめ」においてより深い考察を図る。