

特集「北西太平洋・日本周辺海域における海流系の流量・熱輸送量の変動」

日本海の貯熱量の変動及びその日本海側の降雪との関係*

日比野 祥**・大門 秀志**・谷 政信***

要 旨

海洋データ同化モデル MOVE/MRI.COM-NP を用いた同化実験結果に基づく表層貯熱量データと、大気長期再解析データ JRA-25/ 気象庁気候データ同化システム JCDAS による海面熱フラックスと降水率のデータを用い、日本海の貯熱量とその経年変動の要因と、冬季季節風及び日本海の貯熱量と冬季降水量の関係について検討した。冬季季節風及び日本海の貯熱量と冬季降水量の関係については、秋の日本海の貯熱量は日本海側の冬季降水量に大きな影響を与えており、冬季季節風の強さとともに大雪の条件となっていることが分かった。日本海の貯熱量については、1～3月の貯熱量の季節変化は、海面熱フラックスだけでほぼ説明できるが、4～12月は熱フラックスに加えて対馬暖流による熱の移流によっても日本海に熱が蓄えられていることが示された。また、貯熱量が極小となる3月の貯熱量偏差は8月まで強く持続し、増大期の貯熱量の経年変動に対して、熱フラックスや熱の移流の経年変動は顕著に現れないが、4～10月の貯熱量の増分の経年変動に対しては、熱フラックスよりも、対馬暖流による熱の移流が効いていることが分かった。

1. はじめに

本州の日本海側は、世界有数の豪雪地帯である。このような豪雪は、大陸からの寒冷な冬季季節風に対して日本海の海面水温が温暖なために、海洋から大気へ水蒸気と熱が補給されることによってもたらされている。この日本海側の豪雪現象の研究は従来から盛んに行われてきた。近年では、松村・謝 (1998) が冬季季節風変動の冬季日本及び日本海の気候の経年変動への影響を船舶、地上、衛星観測データを用いて総合的に調査しており、

日本の冬季降水量の変動パターンは日本海側と太平洋側とに分かれており、冬季季節風が強い年には日本海側で降水量が多く、太平洋側では逆に少なくなること、日本海上の降水量、水蒸気量は共に冬季季節風が強いときに減少していることなどを示している。

一方、海洋から大気へ供給される熱・水フラックスの大きさは、風の強さだけでなく、海洋と大気の温度あるいは比湿の差にも依存している。このため海洋から供給される熱・水フラックスの変

* Variation of Heat Content of the Japan Sea and Its Relation to Snowfall in Area along the Coast of the Japan Sea

** Sho Hibino, Hideshi Daimon

Oceanographical Division, Maizuru Marine Observatory (舞鶴海洋気象台海洋課)

*** Masanobu Tani

Marine Division, Global Environment and Marine Department (地球環境・海洋部海洋気象課)

動も冬季降水量の変動に影響していると考えられる。さらに、対馬海峡から流入して津軽海峡あるいは宗谷海峡を通じて流出している対馬暖流は、日本海の温暖な海面水温あるいは表層の貯熱量に影響を及ぼしている。Hirose *et al.* (1996) は船舶データを基に日本海的全領域での熱収支の季節変化を見積っている。彼らの結果によれば、大気-海洋間の熱フラックスは5月に最大の 133 W/m^2 、12月に最小の -296 W/m^2 (ここで、負の数字は上向きフラックスであることを示す) の季節変化をしており、年平均では -53 W/m^2 である。年平均で負のフラックスであるということは、これに見合う熱が対馬暖流によって補給されていることを表しており、対馬暖流による熱の補給の多寡が熱フラックスの変動をもたらして日本海沿岸の冬季降水量に影響する可能性を示唆している。実際、Hirose and Fukudome (2006) は、1997年以降に対馬海峡を横切るフェリーによって得られた流速データを用い、日本海側の12~2月の降水量は、冬季季節風の強さだけでなく、3~4か月の先行指標となる8~11月の対馬海峡における流量との間にも強い相関があることを示した。しかし、Hirose and Fukudome (2006) の解析期間は最近の9年間の結果に限られている。

これまでの研究では主に現場観測結果を直接使って、熱・水フラックスなどの評価が行われてきた。近年になって大気及び海洋のデータ同化モデルが開発され、これらのモデルを用いて観測値に基づくモデルの力学を通じた整合性を持つ、過去に遡った均質な格子点再解析データが利用できるようになった。そこで、本稿ではこれらのデータを活用し、まず日本海の貯熱量の季節変化と経年変動の要因について調査し、次に Hirose and Fukudome (2006) より長期の期間を対象に冬季季節風及び日本海の貯熱量と冬季降水量の関係について検討することとする。

2. 解析海域と使用データ

2.1 解析海域

高槻ほか (2007) は、気象庁の客観解析データベース COBE (Centennial in situ Observation-Based Estimates of the variability of SSTs and marine

meteorological variables) (Ishii *et al.*, 2005) の1度格子月平均海面水温データ (1951~2000年) を用いたクラスター解析によって、類似した変動特性を持つ海域を分類した。高槻ほか (2007) のクラスター解析の結果を用いて日本海を二つの海域に分けると、第1図の北部と中部に分けることができる。北部の海面水温の変動特性はオホーツク海と、中部の変動特性は東シナ海北部や黄海と似ており、北部と中部の変動特性は大きく異なる。対馬暖流は主に中部を流れていることから、本調査では中部に注目し、表層貯熱量・熱フラックスには中部の領域平均値を用いた。

2.2 使用データ

以下に使用したデータの説明をする。なお、本調査は、各データの長期変化傾向を除く数年程度の経年変動を対象とするため、各データは一次のトレンドを除いたものを用いた。

まず、日本海の貯熱量として、気象研究所の海洋データ同化モデル (MOVE/MRI.COM-NP. Usui *et al.*, 2006) を用いた1955~2004年の同化実験結果による、表層貯熱量 (海面から300m深までの平均水温、水温の鉛直解像度: 海面から300m深までに21層) のデータの月平均値を用いた。データの水平解像度は0.5度であり、使用したデータの期間は1961~2004年である。

対馬暖流の流量として、前述の同化モデル MOVE/MRI.COM-NP では水平解像度は0.5度と狭い対馬海峡の水温・流速を評価するには粗いことから、本調査では対馬海峡を通過して日本海に流入する流量を用いる。Takikawa and Yoon (2005) は、傾圧流の季節変化も考慮した上で、1965~2001年の対馬海峡の東水道 (博多-巖原)・西水道 (巖原-Pusan) の水位差と ADCP 観測での流速・流量とを比較し、月別に水位差から流量を求める経験式を示している。そこで、ここでは Takikawa and Yoon (2005) の経験式を用いて、対馬海峡の水位差から東水道・西水道の流量をそれぞれ求め、その和を用いた。水位には Global Sea-Level Observing System (GLOSS) が公開している、博多、巖原、Pusan (第1図) の海面水位データ (検潮所水位データ) を用いた。また、海面気圧

1hPa 当たり水位 10mm の気圧補正を行った。使用したデータの期間は 1966 ~ 2004 年である。

冬季季節風の強さの経年変動の指標としては、イルクーツクと根室の海面気圧の差 (hPa) で定義されるモンスーンインデックス (MOI) (Hanawa *et al*, 1988) を用いた。MOI は 12 ~ 2 月に最大になることから、本調査では 12 ~ 2 月の 3 か月平均の MOI を冬季季節風の強さの指標とした。使用したデータの期間は 1961 ~ 2006 年である。

日本海における海面熱フラックス及び日本の日本海側地域の冬季降水量には、気象庁と電力中央研究所による大気長期再解析データ JRA-25 (Japanese 25-year Reanalysis) (Onogi *et al*, 2007) 及び同システムでの気候解析を現在に延長した気象庁気候データ同化システム JCDAS (JMA Climate Data Assimilation) の解析値 (水平解像度: およそ 110 km) の月平均値を用いた。JRA-25/JCDAS では降水率は大規模降水率と対流性降水率に区分されているため、本調査では、冬季降水

量としてこれら各降水とこれらを足した全降水の 3 つについて、日本海側で雪が多い地域の格子点 (第 1 図) の各降水率のデータを領域平均し、12 ~ 2 月の 3 か月平均したものをを用いた。使用したデータの期間は 1979 ~ 2005 年である。

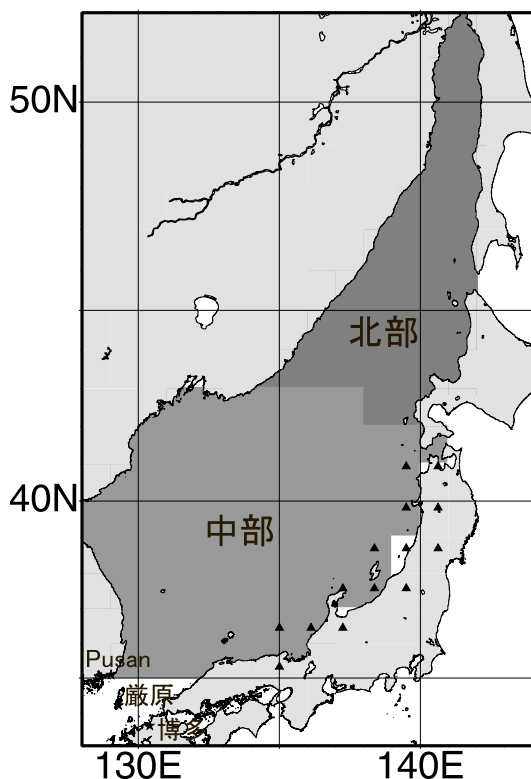
3. 日本海の貯熱量の季節変化と経年変動

ここでは、まず日本海の表層貯熱量の季節変化の要因について調べ、それを踏まえた上で表層貯熱量の経年変動の要因について調べた。

3.1 日本海の貯熱量の季節変化

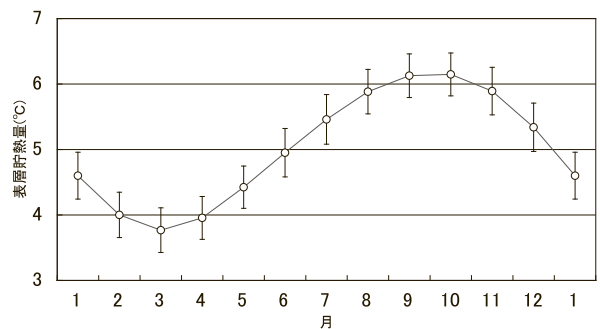
第 2 図に 1961 ~ 2004 年の 44 年間の表層貯熱量データを平均して得られた季節変化を示す。表層貯熱量は、3 月に極小、9 ~ 10 月に極大となる季節変化をしている。月別の標準偏差は、どの月も 0.3 ~ 0.4°C であり、月による大きな違いはない。このような季節変化は海面を通じた熱フラックスと熱の移流によって起こっていると考えられることから、まず、海面熱フラックスの季節変化と、熱移流を担っている対馬暖流の流量の季節変化を見ることとする。

第 3 図に 1979 ~ 2005 年の 27 年間の海面熱フラックスデータを平均して得られた季節変化を示す。4 ~ 8 月は短波放射が卓越し、全熱フラックスは大きく正 (下向き) となり、10 ~ 2 月は潜熱フラックスと顕熱フラックスが卓越し、大きく負 (上向き) となる。11 ~ 2 月の全熱フラックスの標準偏差は大きく、30 W/m² を超える。これは冬季季節風の強さが年によって大きく異なるた



第 1 図 日本海の解析海域と冬季降水量の格子点

北部、中部はクラスター解析で分けられた海域名を示す。図中の▲は冬季降水量の格子点 (計 14 点)、★は海面水位の観測点を示す。



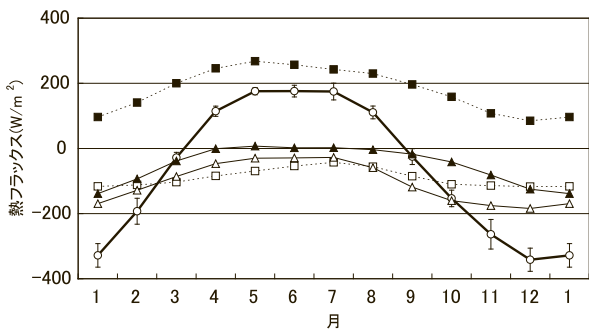
第 2 図 表層貯熱量の季節変化

エラーバーは標準偏差を示す。統計期間は 1961 ~ 2004 年。

めであると考えられる。一方、3～8月は7月を除いて標準偏差は小さい(20 W/m²以下)。7月に標準偏差が大きい(10月と同程度、26 W/m²)理由は、7月の短波放射フラックスが年によって大きく違う(標準偏差 17 W/m²)ためであるが、これは日照時間の年による違いが大きいことによるものと考えられ、梅雨明けの時期の変動が要因の一つと考えられる。

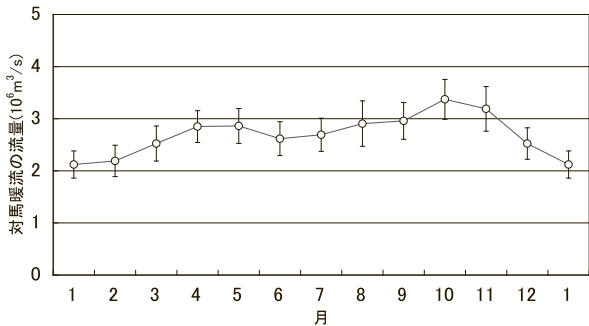
第4図に1966～2004年の39年間の対馬暖流の流量を平均して得られた季節変化を示す。対馬暖流の流量は、4～5月と10月に極大、1～2月に極小となり、2.1～3.4×10⁶m³/sである。また、月別の標準偏差は、どの月も0.3～0.4×10⁶m³/sであり、月による大きな違いはない。

次に、全熱フラックスの表層貯熱量の変化に対する寄与を、海水の密度を1020 kg/m³、比熱を



第3図 海面熱フラックスの季節変化

▲は顕熱、△は潜熱、■は短波放射、□は長波放射、○は全熱フラックスを示し、下向きを正としている。エラーバーは全熱フラックスの標準偏差を示す。統計期間は1979～2005年。



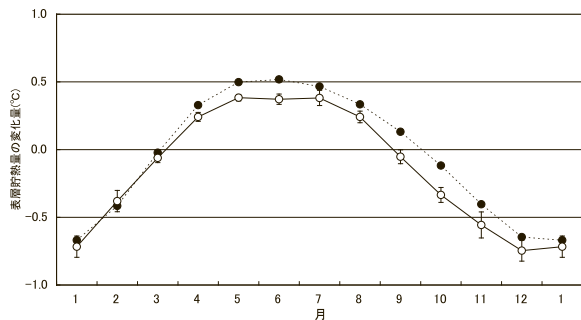
第4図 対馬暖流の流量の季節変化

エラーバーは標準偏差を示す。統計期間は1966～2004年。

4010 J/kg・℃として見積もった。第5図に全熱フラックスから見積もられる表層貯熱量の各月の変化量を、表層貯熱量データに基づく変化量と併せて示す。4～12月は、表層貯熱量の変化量が海面熱フラックスによる変化量より正の側に大きくなっており、この差の分の熱量は主に対馬暖流による熱の移流によって蓄えられていると考えられる。一方、1～3月は、表層貯熱量の変化量と海面熱フラックスによる変化量とはほぼ一致しており、移流等による熱の収支がほぼ0であることを示している。第4図に示しているように、対馬暖流の流量は他の時期に比べてやや小さいが、対馬暖流による熱の移流による蓄積が0となることは考えがたいことから、この蓄積分を相殺する熱の移流があると考えられる。例えば、海域の西部に北方から流入する冷たいリマン海流による熱の移流が他の時期よりも大きい、300mを超える混合層の発達により深層に熱が運ばれている、などの可能性が考えられ、今後検討が必要であろう。

3.2 日本海の貯熱量の経年変動

3～9月は表層貯熱量の増大期であり(第2図)、この時期の表層貯熱量の変化量の経年変動が極大期(9～10月)の表層貯熱量の経年変動に大きく影響していると考えられる。そこで、3月以降



第5図 全熱フラックスから見積もられる表層貯熱量の変化量と表層貯熱量データに基づく変化量

○は全熱フラックスから見積もられる表層貯熱量の各月の変化量、●は海洋データ同化モデル(MOVE/MRI.COM-NP)による表層貯熱量データの各月の変化量を示す。エラーバーは全熱フラックスから見積もられる表層貯熱量の変化量の標準偏差を示す。統計期間は、全熱フラックス:1979～2005年、表層貯熱量データ:1961～2004年。

の表層貯熱量の増分と対馬暖流の流量及び全熱フラックスの経年変動の関係を調べた。第1表に3月からの表層貯熱量の増分と4月からの対馬暖流の積算流量及び積算全熱フラックスとの相関係数を示す。6～7月と9～11月の各月の表層貯熱量の増分は、4月以降の対馬海峡の積算流量とは危険率5%以下で有意な相関関係にあるが、4月以降の積算全熱フラックスとは有意な相関関係にはない。表層貯熱量が極小となる時期は年によって異なり、4月や5月が極小となる年もある。そこで、4月からの表層貯熱量の増分と5月からの対馬暖流の積算流量及び積算全熱フラックスの経年変動の関係も調べたが、ほぼ同様の結果が得られた(図省略)。これらのことから、4～10月(表層貯熱量の増大期)の表層貯熱量の季節変化には海面熱フラックス(主に短波放射)が大きく寄与しているが(第5図)、この時期の表層貯熱量の経年変動に対しては、この時期の経年変動が小さい(第3図)熱フラックスの影響は小さく、対馬暖流による熱の移流の変動が大きく影響していると考えられる。

次に、増大期の表層貯熱量の経年変動について調べる。増大期の表層貯熱量の経年変動には、極小期(3月ころ)の表層貯熱量の偏差(経年変動)

の持続と、表層貯熱量の増分の寄与が考えられる。そこで、4月以降の表層貯熱量と3月の表層貯熱量及び3月からの表層貯熱量の増分の経年変動の関係を調べた。第2表に4月以降の表層貯熱量と3月の表層貯熱量及び3月からの表層貯熱量の増分との相関係数を示す。3月の表層貯熱量との関係について、大きく相関が変わるのは8月から9月にかけてと、12月から翌1月にかけてであり、3月の表層貯熱量の経年変動は8月まで強く持続し、その後も12月まである程度は持続すると考えられる。8～9月は熱フラックスの正負が変わり、表層貯熱量の季節変化に大きく効き始める時期であり、12～1月は冬季季節風が最も強くなり、熱フラックスが上向きに最大となる時期である。3月からの表層貯熱量の増分との関係について、6月以降危険率5%以下で有意な相関がある。また、相関係数の大きさを比べると、6～12月の各月で、3月からの表層貯熱量の増分との相関よりも3月の表層貯熱量との相関の方が大きい。

これらのことから、表層貯熱量の経年変動についてまとめると、4～10月の表層貯熱量の増分の変動に対しては、短波放射を主とした下向き熱フラックスよりも、対馬暖流による熱移流の変動が大きく影響する。また、表層貯熱量全体の変動

第1表 3月からの表層貯熱量の増分と4月からの対馬暖流の積算流量及び積算全熱フラックスとの相関係数

比較要素	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
4月からの対馬暖流の積算流量	0.26	0.27	0.35*	0.35*	0.30	0.32*	0.32*	0.35*
4月からの積算全熱フラックス	-0.13	-0.09	-0.12	-0.14	0.08	0.29	0.19	0.24

*が付いた相関係数は危険率5%で有意な相関があることを示す。全熱フラックスは下向きを正としている。相関を算出した統計期間は、対馬暖流の流入量：1966～2004年、全熱フラックス：1979～2004年。

第2表 4月以降の表層貯熱量と3月の表層貯熱量及び3月からの表層貯熱量の増分との相関係数

比較要素	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	翌1月
3月の表層貯熱量	0.95**	0.79**	0.71**	0.74**	0.69**	0.56**	0.55**	0.56**	0.60**	0.35*
3月からの表層貯熱量の増分	0.03	0.25	0.47**	0.48**	0.39**	0.45**	0.44**	0.52**	0.52**	0.60**

**、*が付いた相関係数はそれぞれ危険率1、5%で有意な相関があることを示す。相関を算出した統計期間は1961～2004年。

に対しては、極小となる3月の表層貯熱量の偏差の持続が大きく影響する。この持続を弱めるのは、冬季季節風の吹き出しに伴う、潜熱・顕熱を主とした上向き熱フラックスの変動である。

4. 冬季季節風及び日本海の貯熱量と日本海側の冬季降水量の関係

1980～2005年を対象に、冬季季節風の強さ及び表層貯熱量と冬季降水量の関係を調べた。

表層貯熱量と冬季降水量の関係を調べる上で、日本海で補給される潜熱（水蒸気）フラックスも考慮する必要があることから、まず、冬季降水量（全降水、大規模降水、対流性降水）と表層貯熱量、潜熱フラックス、及びMOIの関係を調べた。第3表に冬季降水量と表層貯熱量、潜熱フラックス、及びMOIとの相関を示す。全降水の変動は、9～11、10～12月の表層貯熱量、11～1月の潜熱フラックス、及びMOIの変動と有意な相関関係にある。秋の日本海の表層貯熱量は、冬季季節風の吹き出しに伴って11～1月の潜熱フラックスとなって、日本海側に降雪をもたらしているという構造を確認できる。表層貯熱量と各降水との相関では、大規模降水とよりも対流性降水との相関が大きく、平均値が大規模降水の6分の1にすぎない対流性降水との相関が全降水との相関を一層大きくしていると考えられる。MOIと各降水との相関では、対流性降水と大規模降水のどちらに対しても有意な相関がある。そこで、対流性降水と大規模降水との相関を調べると、相関係数0.63の危険率1%以下で有意な相関があることが分かった。このことは、JRA-25/JCDASの冬季におけ

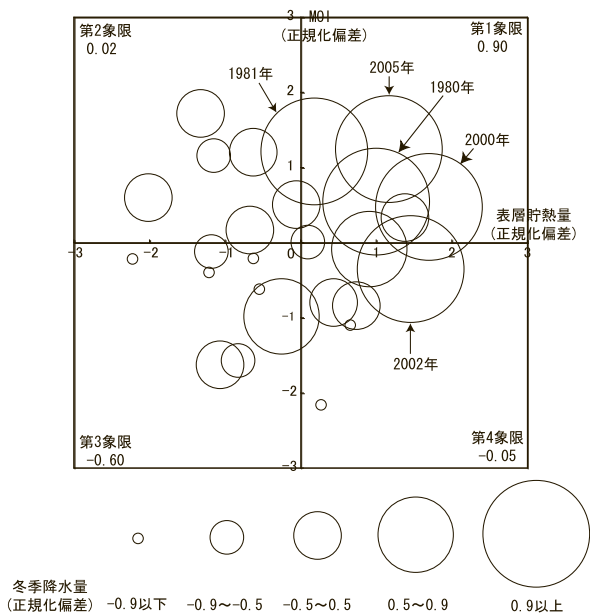
る大規模降水と対流性降水とは、互いに独立でない可能性を示唆している。大規模降水と対流性降水の特徴の違いや相互の関係については本調査の目的を超えているので、降水の種別による特徴の違いの解明は今後の課題とし、以下の議論では冬季降水量については全降水を用いる。4月以降の対馬暖流の積算流量と関係がある10～12月の表層貯熱量が（第1表）、冬季降水量と有意な相関にあることは、Hirose and Fukudome(2006)の、「日本海側の12～2月の降水量は、8～11月の対馬海峡における流量との間にも強い相関がある」と、少し時期は異なるが整合するようにみえるが、本調査の冬季降水量と8～11月の対馬暖流の流量との相関を調べると有意な相関はない。表層貯熱量と冬季降水量の有意な相関から考えると、大雪を予想する先行指標としては、表層貯熱量を用いる方が妥当であるといえる。特に秋季10～12月の表層貯熱量は、3月の極小期の偏差と、その後の4～10月の対馬暖流による熱移流の積算となっているため、気候学的な指標の一つであると考えられる。

10～12月の表層貯熱量とMOIの関係を調べると、相関係数は-0.02で相関はない。このことと、冬季降水量（全降水）に対して10～12月の表層貯熱量とMOIの両方が有意な相関をもっていること（第3表）から、表層貯熱量とMOIのそれぞれが独立して冬季降水量に影響を及ぼしていると考えられる。そこで、冬季降水量、前年10～12月の表層貯熱量、MOIのデータがそろった1980～2005年を比較した。第6図に1980～2005年の冬季降水量と前年10～12月の表層貯熱量及び

第3表 冬季降水量と表層貯熱量、潜熱フラックス及びMOIとの相関係数

降水の種類 (平均値, 標準偏差)	表層貯熱量				潜熱フラックス		MOI
	8～10月	9～11月	10～12月	11～1月	10～12月	11～1月	
全降水 (3.8mm/日, 0.6mm/日)	0.37	0.40*	0.43*	0.34	0.13	0.46*	0.47*
大規模降水 (3.3mm/日, 0.5mm/日)	0.31	0.33	0.34	0.24	0.14	0.44*	0.45*
対流性降水 (0.6mm/日, 0.2mm/日)	0.40*	0.47*	0.51**	0.49*	0.08	0.40*	0.40*

**、*が付いた相関係数はそれぞれ危険率1、5%で有意な相関があることを示す。潜熱フラックスは上向きを正としている。1980～2005年の冬季降水量に対する相関を算出した。冬季降水量は前年12～2月の3か月平均である。



第6図 1980～2005年の冬季降水量と前年10～12月の表層貯熱量及びMOIの大小の関係

横軸は前年10～12月の表層貯熱量を、縦軸はMOIを、それぞれ正規化偏差で示す。図中の円の大きさは冬季降水量の多さを示し、冬季降水量の正規化偏差が0.9を超える年はその年を併せて示す。各象限の端の数字は、その象限での冬季降水量の平均値(正規化偏差)を示す。統計期間は、冬季降水量:1980～2005年、表層貯熱量:1961～2004年、MOI:1961～2006年であり、統計期間での平均値、標準偏差(冬季降水量:3.84 mm/日, 0.63 mm/日、表層貯熱量:5.79℃, 0.34℃、MOI:20.8 hPa, 3.2 hPa)を用いて正規化した。

MOIの大小の関係を示す。正規化偏差で0.9を超える冬季降水量を大雪とすると、大雪となったのは1980, 1981, 2000, 2002, 2005年であり、表層貯熱量と冬季季節風の両者の条件がそろわないと、大雪にはならないことが分かる。また、先行指標である10～12月の表層貯熱量が大きく、正規化偏差が0.9以上であるのは1979, 1999, 2001, 2003, 2004年であり、その後の冬に大雪となるのは26年間の5例のうち4例に上る。

5. まとめ

海洋データ同化モデルMOVE/MRI.COM-NPを用いた同化実験結果に基づく表層貯熱量データと、大気長期再解析データJRA-25/気象庁気候データ同化システムJCDASによる海面熱フラック

スと降水率のデータを用い、日本海の貯熱量とその経年変動の要因と、冬季季節風及び日本海の貯熱量と冬季降水量の関係について検討した。

まず、冬季降水量との関係であるが、松村・謝(1998)が示した冬季季節風の強さ(弱さ)という条件に加えて、秋の日本海の貯熱量の大きさ(小ささ)も、冬の日本海側の冬季降水量の多さ(少なさ)を決める条件であり、両者の条件がそろわないと大雪にはならないことが明らかになった。寒候期の大雪の予想という点では、冬季季節風よりも、先行指標である秋の貯熱量が重要であり、秋の貯熱量が大きくなる年は大雪への注意が必要となる。また、本稿で用いたJRA-25/JCDASの降水率データによる冬季降水量に対しては、大雪を予想する先行指標として、Hirose and Fukudome (2006)が用いた8～11月の対馬暖流の流量よりも、10～12月の貯熱量を用いる方が妥当である。

日本海側の冬季降水量の条件となっている日本海の貯熱量については、1～3月の貯熱量の季節変化は、海面熱フラックスだけでほぼ説明できる。一方、4～12月は熱フラックスに加えて対馬暖流による熱の移流によっても日本海に熱が蓄えられていることが示された。貯熱量が極小となる3月の貯熱量偏差は8月まで強く持続し、増大期の貯熱量の経年変動に対して、熱フラックスや熱の移流の経年変動は顕著に現れないが、4～10月の貯熱量の増分の経年変動に対しては、熱フラックスよりも、対馬暖流による熱の移流が効いていることが分かった。本調査では、対馬暖流からの熱の供給として対馬暖流の流入量を用いているが、本質的には水温を考慮した熱流量を用いて、定量的な熱収支の評価が必要である。より解像度の高い再解析データを利用した、今後の詳しい調査で明らかにしたい。また、JRA-25/JCDASの冬季における大規模降水及び対流性降水の特徴の違いについても解明していきたい。

参考文献

Hanawa, K., T. Watanabe, N. Iwasaka, T. Suga and Y. Toba (1988): Surface thermal conditions in the Western North Pacific during the ENSO events. *J. Meteor. Soc. Japan*, **66**, 445-456.
Hirose, N. and K. Fukudome (2006): Monitoring the

- Tsushima Warm Current improves seasonal prediction of the regional snowfall. SOLA, 2, 061-063.
- Hirose, N., C. H. Kim and J. H. Yoon (1996) : Heat budget in the Japan Sea. *J. Oceanogr.*, **52**, 553-574.
- Ishii, M., A. Shouji, S. Sugimoto, and T. Matsumoto (2005) : Objective analyses of sea-surface temperature and marine meteorological variables for the 20th century using ICOADS and the Kobe collection. *Int. J. Climatol.*, **25**, 865-879.
- 松村伸治・謝尚平 (1998) : 日本列島および日本海上の経年気候変動に及ぼす冬季季節風の影響. *天気*, **45**, 10, 781-791.
- Onogi, K., J. Tsutsui, H. Koide, M. Sakamoto, S. Kobayashi, H. Hatsushika, T. Matsumoto, N. Yamazaki, H. Kamahori, K. Takahashi, S. Kadokura, K. Wada, K. Kato, R. Oyama, T. Ose, N. Mannoji and R. Taira (2007) : The JRA-25 reanalysis. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 369-432.
- 高槻 靖・倉賀野 連・志賀 達・分木 恭朗・井上 博敬・藤原 弘行・有吉 正幸 (2007) : 日本周辺海域における海面水温の長期変化傾向. *測候時報*, **73**, 特別号, S33-S87.
- Takikawa, T. and J. H. Yoon (2005) : Volume transport through the Tsushima Straits estimated from sea level difference. *J. Oceanogr.*, **61**, 699-708.
- Usui, N., Y. Fujii, S. Ishizaki, H. Tsujino, T. Yasuda and M. Kamachi (2006) : Meteorological Research Institute multivariate ocean variational estimation (MOVE) system : Some early results. *J. Advances Space Res.*, **37**, 806-822.