

冬季、亜欧域における 500 mb 面の 3 ジェット 気流系について*

川 添 信 房**

要 旨

気象庁発行の北半球 500 mb 印刷天気図で、冬期間について亜欧域のジェット気流解析を行なった結果、亜欧域スケールでは 3 ジェット気流系が卓越していることが分かった。

これを代表例を挙げて説明し、統計的な検証についても述べる。さらに、ジェット気流の温度による識別についても統計結果を示す。

東経 130 度における断面図解析により、3 ジェット気流系に対応する大規模な前線および気団とこれよりやや規模の小さい前線・気団とを識別し、総合的なモデル的リストを提案する。

日本付近の北西季節風とジェット気流・前線・気団との関連について若干触れる。

1. はじめに

ジェット気流系について、多くの論文、テキストは 2 ジェット気流系で説明している。

しかし、とくに冬季について、3 ないし 4 のより多重的なジェット気流構造を唱えるものも少なからず存在している。

外国では、古くから積極的に多重ジェット気流構造 (3 ジェット気流系以上のものを今後多重ということにする) を唱える報告が提出されている。カナダの Penner (1955); Anderson・Boville・McLellan (1955); McIntyre (1959) は、別々の wave train を持つ傾圧帯に着目して、3-フロント・3-ジェット気流系のモデルを提出している。さらに、アメリカの Serebreny・Wiegman (1957); Serebreny・Wiegman・Hadfield (1962) は、太平洋からアメリカ大陸、大西洋にいたる領域において、より総合的に、3~4 の多重的なジェット気流系と関連する気団・前線の解析を行なっている。また、Reiter の著書 (1974) にも消極的ながら多重的なジェット気流系についての記述が見られる。

日本では、杉本 (1967) が冬季の極東から太平洋にかけての領域で 3 ジェット気流系の存在を示唆しており、

* Three Jet Stream System at 500 mb level in the Eurasian during Winter Season.

** N. Kawazoe, 福島地方気象台。
—1978年1月17日受領—
—1978年3月31日受理—

吉田 (1972) は 3~6 月の資料で日本付近の 3 ジェット気流系の解析を行なっている。また、気象庁予報部の週間予報テキスト (1974) や天気予報指針・実用編 (1976) にも 3~4 のジェット気流系の説明が見られる。

すなわち、主流的には 2 ジェット気流系説であるが、とくに冬季については、これに対する 3~4 ジェット気流系説もかなりある。

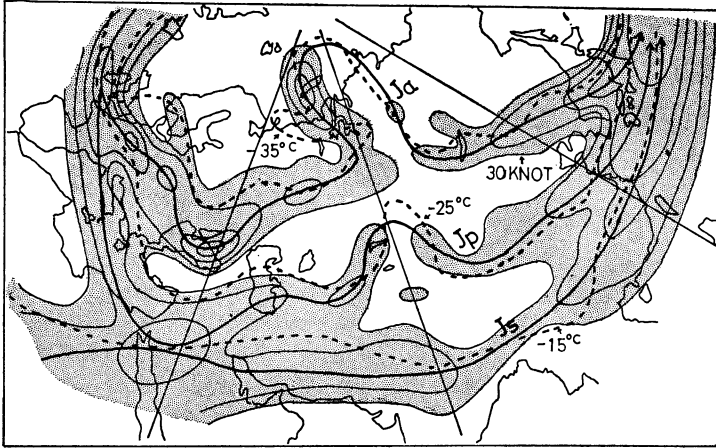
筆者は、冬季の季節風についての研究に関連して、気象庁発行の北半球 500 mb 印刷天気図を使用して、冬季の亜欧域におけるジェット気流系について調査した。その結果、3 ジェット気流系が卓越していることが分かったので、これと東経 130 度における断面図解析による気団・前線の解析とを関連させて、この報告をまとめた。

2. 3 ジェット気流系の代表例

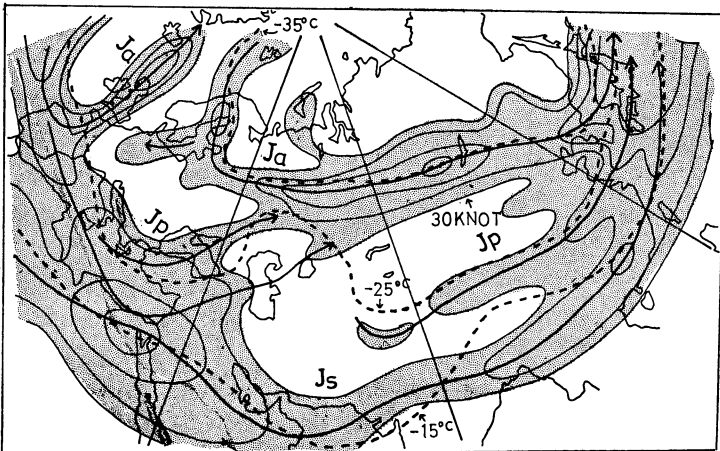
最近数年間の北半球 500 mb 印刷天気図を使用して、亜欧域の等風速線パターンを視察または描画し、とくに 1976 年 1 月、2 月について重点的に解析した。亜欧域ではおおむね 3 ジェット気流系が卓越しているが、以下に代表例 3 例を挙げて説明する。

なお、WMO で設定したジェット気流に関する数量的基準があるが、ここで解析したジェット気流はおおよそこの基準に見合っているように思う。

(1) 1976 年 1 月 23 日 21 時の例、北のジェット気流の蛇行強く、中間と南のジェット気流が中近東で合流・分流している型 (第 1 図・a)。



第1図(a) 1976年1月23日21日本時の亜欧域 500 mb ジェット気流パターン。実線は等風速線 (30, 40, 60, …… , 20ノットおき, 網目は30ノット以上を示す), 太実線はジェット気流軸, 破線は等温線 ($-35, -25, -15^{\circ}\text{C}$).



第1図(b) 1976年1月29日21日本時の亜欧域 500 mb ジェット気流パターン。図様式は第1図(a)と同じ。

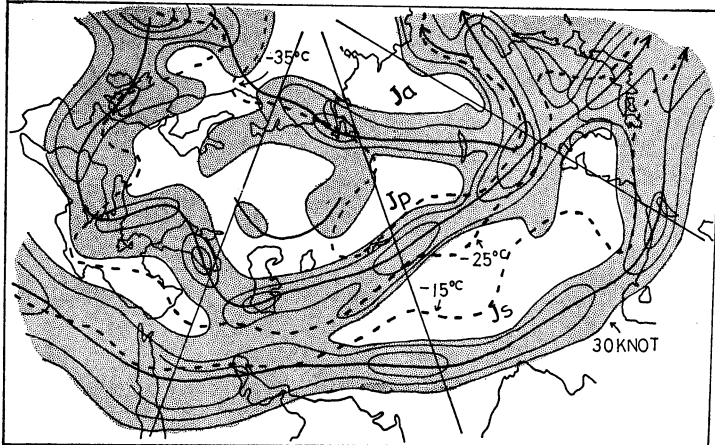
図には、各ジェット気流を Ja, Jp, Js というように記してあるが、これを当面、北、中間、南と読みかえてもらいたい。後節でこれらの記号の意味を説明する。一見して、3ジェット気流系があることは明らかである。北のジェット気流は蛇行がかなり大きく、バイカル湖方面から日本付近にかけての南下度が大きい。北と中間のジェット気流は大西洋と太平洋で合流し、中間と南のジェット気流は中近東と太平洋で合流している。

(2) 1976年1月29日21時の例、北のジェット気流のアジア領域における蛇行は小さく、中間のジェット気流が

亜欧境界領域ではっきりしない型(第1図・b)。

北のジェット気流は、アジア領域ではゾーナルでバイカル湖方面から日本付近にかけての南下度は比較的小さい。中間のジェット気流はカスピ海付近からヒマラヤ領域にかけてははっきりしなくなっている。しかし、その東西では連続的であり、大勢としては中間を走る1本のジェット気流が存在していると考えたい。ジェット気流の合流(分流)の状況は(1)の例とほぼ類似する。

(3) 1976年2月13日21時、北のジェット気流は全域的に北偏し、中間と南のジェット気流が日本付近を除きは



第 1 図 c 1976 年 2 月 13 日 21 日本時の亜欧域 500 mb ジェット気流パターン。図様式は第 1 図・a と同じ。

っきり分離している型 (第 1 図・c)。

北と中間のジェット気流は、ヨーロッパ領域でブロック・パターンを示す。北のジェット気流は、北偏し、日本付近への南下はない。中間と南のジェット気流は、前 2 例と異なり、中近東さらにその西方アフリカ方面でも合流(分流)しておらず分離的である。

(4) ジェット気流と日本付近の季節風との関連

ここで、若干ジェット気流と季節風との関連について触れておく。

(1) の例のごとく、北のジェット気流がバイカル湖方面から日本付近にかけて大きく南下する場合は、季節風は強い。(2) の例のごとく、比較的南下度が小さい場合は普通の季節風、(3) の例のごとく、南下しない場合は季節風は吹き出さない。

3. 統計による 3 ジェット気流系の検証

1976 年 1～2 月の期間で、毎日 1 回 (21 日本時)、3 経度線 (東経 40 度、80 度、120 度) を通過するジェット気流の数を読み取って統計した。日本を通る経度線は、この付近でジェット気流の合流が起こりやすいため除外した。第 1 表はその統計結果である。3 ジェット気流系が 82% を占めており、2 ジェット気流系、4 ジェット気流系とも同一の時点では全部の経度線での出現率が低いので、おおむね 3 ジェット気流系が卓越していると考えて良いようである。

4. 特性温度によるジェット気流の識別

500 mb や 300 mb の等圧面上では、ジェット気流がある特定の温度の周辺に出現しやすいことについてはい

第 1 表 各ジェット気流系の出現率 (東経 40 度、80 度、120 度)

	出現率
2 ジェット気流系	6%
3 ジェット気流系	82
4 ジェット気流系	12

くつかの報告がある。

筆者は、500 mb 面で前述の 3 経度線を通るジェット気流軸の温度を直接天気図から読み取って統計して、第 2 表に示した。この表の資料は、経度線上に 3 ジェット気流系がある場合のみを扱ったが、それは、基本的に 3 ジェット気流パターンが卓越していること、これが合流・分流したりして 2 ジェット気流系や 4 ジェット気流系を形成すると見ているので、基本的なジェット気流の温度をつかむ意味でこのようとり方をした。

第 2 表を整理すると第 3 表のごとくなる。各ジェット気流の温度がかなり限られた温度幅をもっている点に特徴があり、特定等圧面上の温度でジェット気流を識別することが可能であることを示している。なお、温度幅は 10% 以上の出現率をもつ領域に着目してみた。

代表例に、-15、-25、-35°C の等温線を入れておいたが、これらの温度は各ジェット気流の最大出現率の温度 (-25、-35°C) およびごく近い温度 (-15°C) であるが、各ジェット気流はそれぞれこれらの等温線の付近を走っているのが見られる。

つぎに、4 ジェット気流パターンになる場合、上述の

第 2 表 東経40度，80度，120度における北・中間・南の各ジェット気流の温度別出現率 (%)

	北	中間	南		北	中間	南		北	中間	南
-40	3			-28		10		-16			
-39				-27		7		-15			17
-38	2			-26		8		-14			8
-37	4			-25		27		-13			21
-36	4			-24		4		-12			21
-35	34			-23		10		-11			10
-34	11			-22		15		-10			12
-33	12			-21		2		-9			3
-32	12			-20		10		-8			5
-31	4			-19		2		-7			1
-30	13	2		-18		2		-6			
-29	1			-17			1	-5			1
								-4			1

第 3 表 各ジェット気流の特性温度 (°C)

	500 mb 温度	
	出現幅	出現率最大
北のジェット気流	-30~-35	-35
中間のジェット気流	-20~-28	-25
南のジェット気流	-10~-15	-12・-13

第 4 表 東経 120 度の中間と南の間のジェット気流の温度

	-21	-20	-19	-18	-17	-16	-15	-14	-13	計
発生数	1	2	1	6	1		2		1	14
発生率	7	14	7	43	7		14		7	

第 5 表 筆者の提案するジェット気流名称

前節までの名称	新しい名称	略 称
北のジェット気流	Arctic front jet stream	Ja
中間のジェット気流	Polar front jet stream	Jp
(中間と南の間のジェット気流)	(PS front jet stream)	Jps
南のジェット気流	Subtropical jet stream	Js

3 ジェット気流系の温度識別も参照して解析してみると，中間と南のジェット気流の間に分枝的に生じたものが見え加わっているのが見られることが多い。それで，東経 120 度で 4 ジェット気流パターンとなっている場合について北から 3 番目（南から 2 番目）のジェット気流の軸の温度を読み取って統計すると，第 4 表のごとくなる。例数は少ないが，-18°C に最大出現率が見られる。

5. ジェット気流の名称

これまでジェット気流を，北，中間，南というように呼んできた。ここで，すでに述べた多重的なジェット気流系の報告に見られる名称を勘案して筆者が提案する名称を第 5 表に示す。

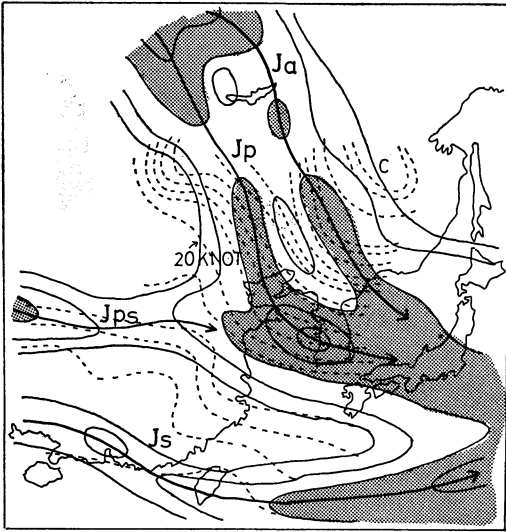
筆者としては，北，中間，南に対応する 3 ジェット気流系が基本的なものと考えているが，時として，中間と南のジェット気流の間に局部的に現われるものを PS front jet stream (略称 Jps) としてつけ加えたい。PS はポーラーとサブの間の意味で使用してみた。

6. ジェット気流と気団・前線との関連

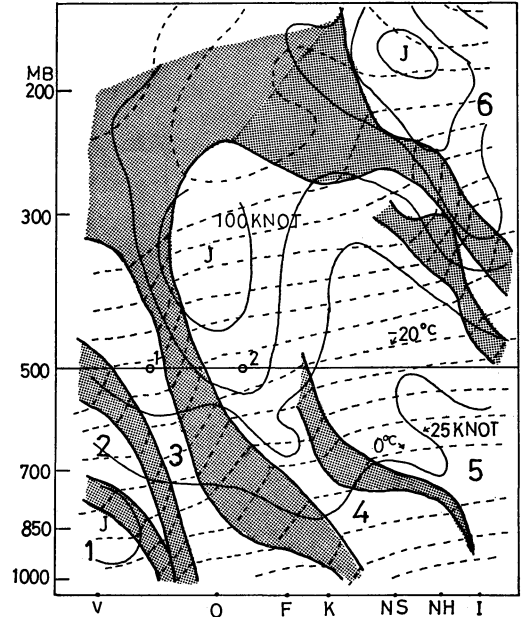
当然ながら，ジェット気流は気団・前線と関連する。適当な十数例を選び，東経 130 度の断面図解析をしたので，そのうちの代表例を挙げて説明する。

(1) 1976年 2月10日09時の例

第 2 図(a)の等風速線図では，亜欧域に連続的なジェット気流 Ja, Jp, Js と中国南部に局部的に Js から分



第2図(a) 1976年2月10日09日本時の極東域の500mb ジェット気流パターン。実線は等風速線(20, 30, 40, ……、20ノットおき、網目は40ノット以上)、破線は850mb等温線(2°Cおき)、太実線はジェット気流軸。



第2図(b) 1976年2月10日09日本時の東線130度断面図。実線は等風速線(25, 50, 75, ……、25ノットおき)、破線は等温線(5°Cおき)、網目は前線または成層圏を示す。地点符号はV(ウラジオストック)、O(オーサン)、F(福岡)、K(鹿児島)、NS(那瀬)、NH(那覇)、I(石垣島)。

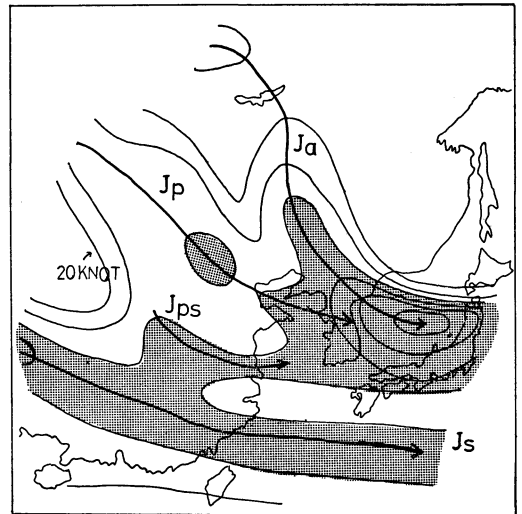
枝していると思われるジェット気流 Jps が解析される。

第2図(b)の500mbに記入されている白丸の1は、第2図(a)のJa、白丸の2はJpに対応し、Jsは断面図ではカットされている。

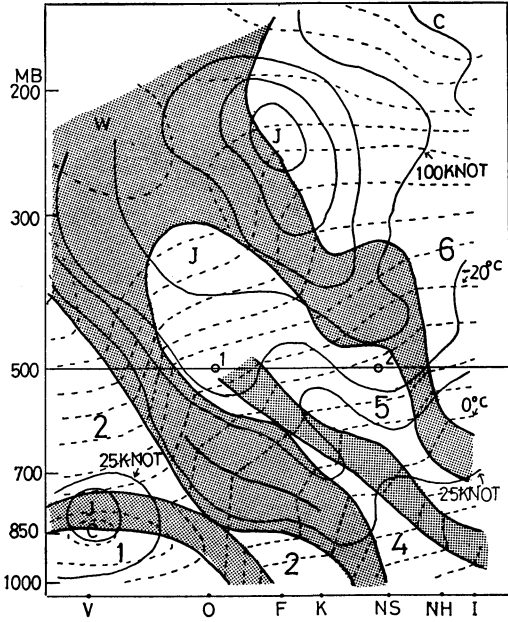
前線は、Ja、Jpの下方にジェット気流に対応したものがみられるが、ウラジオの700mb以下に見られる背の低い前線は直接ジェット気流には関与せず、下層ジェット気流のようなものを伴っている。Jpsは、断面図でははっきりしなくなっているが、Jpに対応する前線の南側に見られる比較的背の低い(あるいは上層にゆくに従ってはっきりしなくなる)前線との対応が問題となる。第2図(a)の850mbの等温線パターンを見ると、中国方面ではJpsと温度集中帯(上記前線と見られる)との対応がはっきりしているが、日本付近でははっきりしなくなる。Jsに対応する前線は、フィリピンのデータを見ると、いわゆる貿易風帯の逆転層と連なっているかのごとくであるが、上層前線であることは間違いがない。

(2) 1974年1月23日21時の例

第3図(a)の等風速線図では、例(1)と同様、Ja、Jp、JsとJpsが解析される。ただし、JpsはJpから分枝しているかのごとく見える。



第3図(a) 1974年1月23日21日本時の極東域500mb ジェット気流パターン。図様式は第2図(a)と同じ。



第3図(b) 1974年1月23日21日本時の東経130度断面図。図様式は第2図(b)と同じ。

Ja, Jp は合流しており、第3図(b)の500 mbの白丸の1で示したものに該当する。Ja, Jp に対応する前線は、例(1)では、それぞれに対応して分離していたものが一つになり幅広い前線を形成している。その下方に見られる背の低い前線は、前例と同じ種類のものである。白丸の2は第3図(a)のJsに該当するものである。この500 mbのジェット気流の位置が、上層前線(図でもっとも南側のもの)のやや北側にある点が問題である。この前線の北方に比較的近接して500 mbより下層の前線があり、その効果を受けていると見られ、500 mb周辺の強風域全体はこれら2つの前線に対応していると言えるように思う。この強風域は、上層に行くに従って上層前線の南側に移る。とにかく、例(1)、例(2)ともJpsそのものははっきりしない。

なお、これら2例とも、全層的なジェット・コアとしてJsがもっともはっきりしており、これに伴う前線は上層前線であるがかなり下層までのびており、温度集中度も大きい。強風核は、Jp, Jaと次第に弱くなり、とくにJaは弱く、相対的強風域として表現される程度である。また、Jaの強風核(相対的強風域)の高度がかなり低く400 mb前後であり、300 mb面のジェット気流解析では、このジェット気流はほかのジェット気流と

比較して相対的には500 mb面より弱目に解析されることが考えられる。

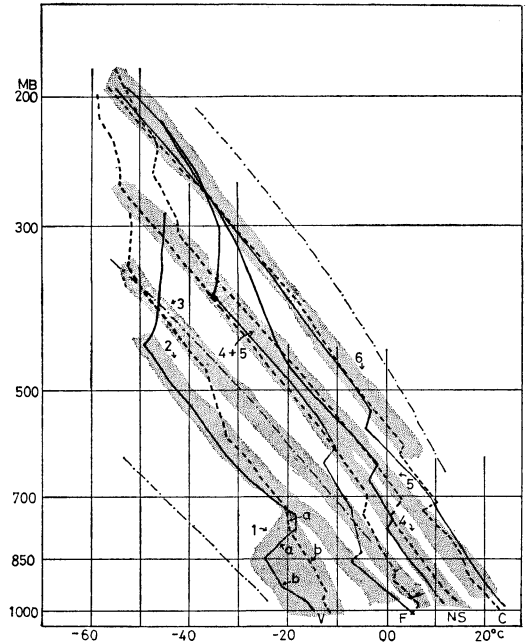
しかし、少なくとも500 mb面では、亜欧域等風速線図の代表例で見られるごとくJaの方がJpよりむしろ安定的であり、この付近の高度でははっきりした3ジェット気流系を構成していると言えよう。

Ja, Jpともに、対流圏全層にわたってははっきりした前線(傾圧帯)を伴っていることは明らかであり、当然それぞれに異なる傾圧波の波列を持つことは、とくに毎日の解析上重要なことであろう。

(3) 状態曲線解析による気団・前線の識別

本来、断面図解析は状態曲線の解析から始まる。したがって、この項は最初を書くべきことも知れないが、説明の都合上後まわしになった。

第4図は、前述の2例の状態曲線をまとめて書いたもので、図を見易くするため主要4地点にとどめている。図中の網目をほどこした部分の2~6はそれぞれ気団の状態曲線を示す。前線はその間に存在することになる。網目1については後述する。



第4図 東経130度における状態曲線による気団、前線の解析。エマグラム使用、実線は第3図の例の状態曲線、破線は第2図の例の状態曲線を示す。地点符号は同じ(Cはフィリップスのクラーク)、鎖線は湿潤断熱線。

例(1)では、東経130度において Ja と Jp は分離しているが、例(2)ではこれらは合流している。これと対応して、前線も、Ja, Jp に対応するものが、例(1)では分離しているが例(2)では併合している。このため、例(2)では3の気団を示す状態曲線が存在しない。断面図に記入されている気団と記号を合わせてある。

野口(1966)は、統計的に日本付近の気団の基準状態を与えた。それによる気団は対流圏全層にわたるようなものになっている。少なくとも、ジェット気流に対応するような大規模な前線・気団はそのようなものとなる。また、この基準状態曲線や断面図解析の経験から、一般に気団は湿潤断熱減率に近い減率を持っているようであり、前線に該当する安定層と区別される。さらに、隣接する地点の同じ気団の状態曲線は、各時点ではほぼ類似してくるのは当然であり、これも状態曲線による気団識別の基礎となるが、時点を違えても、同一気団の状態曲線はある一定の季節では類似した性質をもっている。これは、気団は一定季節ではある等圧面では特定の温度をもつことを意味し、前線およびジェット気流が特性温度をもつこととも連けいする。

このような観点から、第4図のごとき状態曲線解析がなされ、断面図解析の基礎ともなっている。

上述の気団についての概念は、第4図で示した網目をどこにした部分2~6について言えることであり、網目1の解析についてはいささか観点を変えなければならない。網目1の中では、aは前線、bは気団というように一応解析し、断面図もそのような観点で作製されている。しかし、この部分の気団を示す状態曲線は場合によっては一致しないことも多く、ある等圧面で必ずしも一定の温度を示さない。この点が網目2~6の気団と異なる。

筆者(1973, 1974)は、さきにこれを下層寒気団と呼び今回もこの表現を使用した。問題のあるところである。なお、倉嶋(1959)、高橋(1969)は、要するに広範囲な下層の寒気塊という気団的な認識で表現し、川本・石坂(1968)は、逆転層という表現を使用している。冬季、輻射冷却により、シベリア大陸に2,000~3,000mの高さにこのような寒気団が形成されると言われているが、必ずしも明確に解析されているわけでない。ここでは、とにかく気団と前線に分離して解析したが、この前線は上層ジェット気流の形成には直接関与していないと見られる。

冬季、日本付近における季節風は、Ja に対応する前

第6表 冬季、日本付近の気団・前線・ジェット気流

気 団	前 線	ジェッ ト気流
(下層寒気団) 1	(下層寒気団フロント)	
アークテック気団 2	アークテック フロント	Ja
ポーラー気団 3	ポーラー フロント	Jp
(PS 気団) 4	(PS フロント)	(Jps)
トロピカル気団 5	サブトロピカル フロント	Js
上層トロピカル気団 6		

線が通過し、その北側の寒気団(網目2の気団、のちにアークテック気団と呼ぶ)の侵入によって始まると見られ(川添, 1973, 1974; 三瓶・川添, 1976)、前述の Ja のバイカル湖方面からの南下度もこの気団の南下度と比例する。季節風時、この網目1の部分も同時に侵入し、日本海における変質の主要部分を構成する。この部分の海気温差が、アークテック気団の海気温差に比してはるかに大きいことによる。

7. まとめ

亜欧規模で、冬季 500 mb 面では、Ja, Jp, Js の3ジェット気流系が卓越することが分かり、これらのジェット気流に対応する気団・前線の状況もかなりはっきりした。

とくに、日本付近に適応すると見られる気団、前線、ジェット気流のモデル的なリストを第6表に示した。気団の数字は前節の断面図で使用したものと同じである。

下層寒気団とか PS 気団を除くと、気団分布は Palmén・Newton のテキスト(1969)に掲載されているモデル(気象の辞典, 1974 参照)と類似していると思う。ただ、Palmén・Newton のモデルでは、アークテックフロントが高緯度に偏し、ジェット気流も表現していない点に違いが見られる。他の領域に比し、アジア領域ではとくにアークテック気団の規模が大きく、前線、ジェット気流もより強く南下しやすく、この点が表現の差となって現われたのかも知れない。

PS 気団およびその前線は、ジェット気流との対応などはっきりしない点もあるがおもしろい存在ではないかと思う。PS フロントの 850 mb の温度は、15°C 前後(前線の暖気側をとるのでトロピカル気団の温度とほぼ同じになる)であり、梅雨前線の温度は山本(1957)は 14°C、川添(1964)は 16°C としていることを勘案すると、季節が進むにつれこの PS フロントは次第に顕在化し梅雨前線となるのかも知れない。

筆者は, 第6表のカッコしていない気団・前線は3ジェット気流系に対応する大規模なもの, カッコをつけたものはそれらに比べてより小規模なもの, 両者をはっきり区別している。

3ジェット気流系の Ja と Jp は南北変動の大きいジェット気流であり, 月平均図では幅広い一つのジェット気流となってしまうであろう。また, 日別に見た場合でも, Ja はとくに蛇行し易く Jp と合流・分流することが多く, この場合, 本来2本あるものが合流・分流しているという上述の見方に対し, 本来1本のもものが2本に分かれたのであるという見方が出るのも当然であり, 前者が3ジェット気流系, 後者が2ジェット気流系の解析にもつながるであろう。

すでに述べた資料の範囲で, 3ジェット気流系解析の方がより自然で現実的であると主張したいのである。

謝 辞

この調査は, 気象研究所の地方共同研究「日本海北部における寒冷渦および季節風の状況下の降雪機構」の一環として行なったものである。

このプロジェクトを指導されている, 気象研究所の二宮洗三研究室長および仙台管区気象台の関係者の方々に深く感謝したい。

また, 多くの助言を与えて下さった気象庁予報課の三瓶次郎予報官にとくに感謝の意を表したい。

文 献

- Anderson, R., B.W. Boville and D.E. McLellan, 1955: An operational frontal contour analysis model, *Quart. J.R. Met. Soc.*, **81**, 588-599.
- 川添信房, 1964: 夏季における 850 mb の特定温度と大雨・雷・前線などの関係について, 昭和39年東北地方調査研究会資料。
- , 1973: 北西季節風の大雪, 東北技術だより, **63**, 1-38.
- , 1974: 北西季節風時の寒気の構造と変質

について, 昭和49年度東北地方調査研究会資料。川本敏夫, 石坂重次, 1968: 逆転層, 気象庁技術報告, **66**, 77-84.

気象庁予報部, 1974: 週間予報資料(4) 300 mb ジェット気流。

気象庁予報部, 1976: 天気予報指針・実用編, 70~72.

McIntyre, D.P., 1959: The Canadian 3-front, 3-jet stream model, *Gephysica*, **6**, 309-324.

根本順吉, 倉嶋 厚, 吉野正敏, 沼田 真, 1959: 季節風, 地人書館, 208-210.

野口和則, 1967: 基準状態曲線による断面図解析, 昭和42年度東北地方調査研究会資料。

Palmén E. and C.W. Newton, 1969: Atmospheric circulation system, *Academic Press*, 113-115.

Penner, C.M., 1955: A three-front model for synoptic analysis, *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **81**, 89-91.

ライター, エルマー. R. (松本誠一訳), 1974: ジェット気流, 河出書房新社。

三瓶次郎, 川添信房, 1976: 冬季, 寒気ドームの通過に伴う東北地方日本海側におけるレーダエコーの形状と特性の変化, 研究時報, **28**, 189-200.

Serebreny, S.M. and E.J. Wiegman, 1957: The jet stream complex over the Pacific, 75 th Anniversary volume, *J. Met. Soc. Japan*, 199-214.

Serebreny, S.M., E.J. Wiegman and R.G. Hadfield, 1962: Some characteristic Features of the Jet Stream Complex during Selected Synoptic Conditions, *J. App. Met.*, **1**, 137-153.

杉本 豊, 1967: 高高度気象解析, 気象研究ノート, **94**, 83-85.

高橋浩一郎, 1969: 総観気象学, 岩波書岩, 160-171.

山本常男, 1957: 前線の研究(第3報) 前線の気候学的変動, 昭和32年中国地区第1回研究会誌。

吉田一男, 1972: 日本付近におけるジェット流に関する調査, 研究時報, **24**, 95-100.

和達清夫監修, 1974: 気象の辞典, 東京堂出版, 131-132.