

日・米・英三国の飛行計画作成用上層風数値予報精度*

小野寺 三 朗^{*1}・今 井 信 博^{*2}・佐 竹 一^{*3}
長 束 好 規^{*4}・斉 藤 章^{*5}・水 野 洋^{*6}

要 旨

航空用上層風予報は国際民間航空にとって不可欠且つ最も重要な気象情報の一つである。筆者はそれらの提供(=航空会社での利用)段階における精度を、1989年10月から翌年9月迄の期間について調べた。

対象とした予報は世界空域予報中枢(米国及び英国気象局)の航空用予報出力、及びそれに相当する気象庁全球モデルの予報出力の各24時間予報である。

この調査では、洋上等の航空路に沿う地域も調べる為、検証用データとして気球による高層観測データ(=TEMP)の他、航空機による観測データ(=AIREP)を用いた。

調査の結果以下が確認出来た。

- ①日米英三国の飛行計画作成用上層風予報出力の予報精度に基本的な差はない。
- ②予報精度は地域(路線)により異なり、例えば同じ洋上地域でも南半球の東太平洋は良く、北半球の東太平洋では相対的に精度が劣る。
- ③地域(路線)によっては、TEMP及びAIREPで検証した結果相互間に著しい違いがあり、特に北太平洋でAIREPによる結果がTEMPによるものに比べて劣る。

1. はじめに

世界空域予報組織世界中枢(=米国気象局及び英国気象局)により作成配信される上層風気温予報は、国際民間航空にとり不可欠な情報の一つである。上層風予報は、長距離運航の信頼性及び効率性の面でとりわ

け重要な役割を果たしており、国際線の長距離運航が増加し続ける今日、その航空に果たす役割は益々大きくなって来ている。

そこで、航空機運航に大きな影響を与えている上層風予報について、数値予報利用者の立場からその提供(=利用)段階に於ける精度を検証したのでその結果を報告する。調査対象には世界空域予報中枢(=米国及び英国気象局)から飛行計画作成用として実際に提供されている上層風予報、及び気象庁全球モデルから出力されたそれらに相当する予報を選んだ。

この調査では、洋上の航空路沿いの地域の予報風精度も調べる為、評価用実況には通常の地上高層風実況の他、機上観測データを用いた。

尚、上層の気温予報は、誤差の運航に与える影響が風に比べて相対的に小さい事により、また、ヨーロッパ中期予報センター作成の上層風予報は、出力時刻が遅く航空用には適していないので、何れも当初から調査対象に含めていない。

調査結果を報告するに先立ち、ここで先ず航空機運航と上層風予報との関係を見ておく。

* The accuracy of upper level wind numerical forecasts for flight planning, provided by the Japan Meteorological Agency, the United States of America National Weather Service and the United Kingdom Meteorological Office.

^{*1} Onodera Saburo, 日本航空(株)運航部.

^{*2} Imai Nobuhiro, 日本航空(株)システム開発部.

^{*3} Satake Hajime, 日本航空(株)システム開発部.

^{*4} Nagatsuka Yoshinori, 日本航空(株)システム開発部.

^{*5} Saito Akira, 日本航空(株)システム開発部.

^{*6} Mizuno Hiroshi, 日航情報開発(株)運航整備システム部.

——1993年2月8日受領——

——1993年10月21日受理——

(1) 飛行計画作成における上層風予報の役割

定期旅客便の運航では、飛行前に気象情報が綿密に検討され飛行計画が決定される。旅客機が安全に定時に、大気擾乱の影響等もなく快適なうちに目的地に到着するかどうかは多くの人々の関心事であるが、一方、飛行時間や消費燃料、洋上飛行の場合の飛行経路、等は必ずしも人々の関心の対象とはならない。

然し、これらは、安全で効率的な運航と言う観点からは何れも重要な要素ばかりであり、従ってこれらを検討し判断する為に必要な気象情報は、国際的取決めに基づき、気象庁を始めとする各国気象機関から国際線を運航する航空会社に提供されている。

即ち、上層風予報は、悪天候に関する情報と同様飛行計画を作成する上で必須の情報であり、これなくして今日の国際民間航空は成立し得ない、と言っても過言ではない。

そこで、上層風予報の航空に果たす役割とその影響について、大型ジェット旅客機の飛行時間で2～3時間程度の短距離運航と、最高13～14時間程度に迄達する長距離運航とに分けて、以下に具体的にしておく。

(2) 短距離運航に於ける上層風予報の利用

航空機の離陸・上昇・巡航・降下・着陸の各段階のうちで、飛行時間・消費燃料が上層風の影響を最も直接的に受けるのは巡航の段階である。

大型機の短距離運航に於いては、巡航区間が短い事、及び、性能上の余裕も大きい事等から、上層風予報が運航に及ぼす影響が長距離便に比べ相対的に小さい。

然し、短距離便は、個々の便の受ける影響量は小さいが、運航便数が多い場合、総体としての影響量は相当なものとなる。このため、短距離便についてもより精度の高い飛行計画を効率良く作成する事が望まれ、多くの航空会社では短距離便の飛行計画もコンピューターを用いて作成している。具体的には、1KT(=0.515 m/s) 刻みで向い風成分を算出し飛行時間や消費燃料もそれに応じてきめ細かく調整する事が行われており、従って短距離便も上層風予報の影響を敏感に直接的に受けることになる。

処で、最終便等の出発が何らかの理由で遅れると予想される様な場合、運航管理者は当該便が目的地空港の運用時間内に到着出来る様、安全で飛行時間が最も短い高度を上層風予報等を用い探し出している。そして門限に間に合わないと判断される場合は、早めに欠航の決断を下す等混乱を最小限に食い止める様努めているが、こうした利用者への影響の大きい重要な場面

においても、数値予報による上層風予報は極めて大きな役割を果たしている。

(3) 長距離便における上層風予報精度の影響

上層風予報精度の長距離便に及ぼす影響を見るに当たり、先ず風と飛行時間との関係を見る。

対気速度 V_a の航空機が、航空機の進行方向に対するジェット風の成分 V_j (追い風を正、向い風が負) を受けて、距離 L を飛行するのに要する時間 T は、

$$T = L / (V_a + V_j)$$

無風状態での所要時間 T_0 は、

$$T_0 = T (V_j = 0) = L / V_a$$

無風状態とジェットが存在する場合との所要時間の差 D (遅れが正、早まるのが負) は、

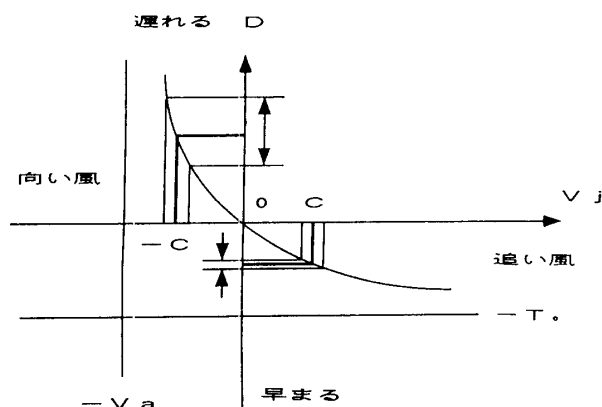
$$D = T - T_0$$

$$= L / (V_a + V_j) - T_0$$

L , V_a , T_0 を一定とし、 D を V_j の関数としてグラフに表すと第1図が描ける。ここで D は $V_j = -V_a$, $D = -T_0$ を漸近線とする双曲線である。(第1図参照)

この関数で最も重要な点は、向い風が強い程関数の傾きが大きくなる点である。つまり、図では左に行く程傾きが急になっているが、これは追い風と向い風の効果の非対象性を示している。具体的に、ある風速 C ($-C$) に同じ誤差を与えた時、それが時間差 D の誤差としてどう表れて来るかを見てみると、明らかに向かい風状況下の方が誤差に対し敏感であり、また、同一の誤差でも、負の誤差の方がより大きな時間誤差を生む事が判る。

実際、例えばジェット気流の強い寒候期に米州から成田に向かう便が、予報風より強い向い風を何時間も受けると、飛行時間(=消費燃料)が予定より大幅に増加する事により、場合によっては飛行計画を変更し



第1図 上層風の強弱とその予報誤差とが飛行時間に及ぼす影響

給油の為臨時着陸をする事も必要となって来る。航空会社では当初から予報誤差の可能性も考慮に入れて飛行計画を作成している。実況風が予報風より強い事により直ちに給油着陸等が必要になる訳ではないが、西風が強く貨客も多く且つ目的地の天候も余り良くない、と言う様な条件の厳しい日には、運航は上層風予報の僅かな誤差によっても大きな影響を受けるので、こうした場合にはとりわけ正確な上層風予報が必要となって来る。

(4) 高精度上層風予報を活用した長距離運航方式

以上の様に上層風予報精度は飛行計画に大きな影響を及ぼしているが、一方、国際民間航空関係者の数値予報に対する信頼度は高く、最近では数値予報が高精度である利点を活かした Reclearance (リクリアランス) 方式と称する運航方式も長距離国際線ではほぼ定着している。

この方式は、飛行中にある地点から先の部分についての飛行計画を最新の予報及び飛行状況等に基づき作成し直し、以後はその更新した飛行計画に沿って飛行する方式で、当方式は従来方式では無着陸で到達できなかった目的地に直行する事を可能にしている。民間定期航空便は上層風予報誤差等に備えほぼ飛行時間に比例する補備燃料を搭載しているが、予報誤差が小さいと、使用されずにタンク内に残る燃料が従来方式の長距離飛行後半では相当な量に達する事から、リクリアランス方式ではこの燃料を活用し飛行距離を伸ばしている。リクリアランス方式はこの他当初から燃料節約を目的として実施される場合もあるが、何れにしても数値予報による正確な上層風予報なくして当方式は成立し得ないと言っても過言でない。

当方式により、同一区間を同一重量の同一機材で従来方式より少ない消費燃料で飛行する事が可能となっているが、これは排出物の総量を減らす事にもつながり地球環境の観点からも好ましいと考えられる。高精度の数値予報は飛行計画を通じ環境保護にも貢献している、と言う事が出来よう。

2. 資料及び方法

(1) 資料

a. 予報

気象庁、米国気象局、英国気象局よりそれぞれ航空用等を目的として出力されている 12 UTC (UTC は世界時) を初期時刻とする上層風24時間予報。

- ・期間：1989年10月1日—1990年9月30日

- ・高度：250 hPa
- ・出力の格子点間隔 (数字は順に緯度幅及び経度幅)：気象庁=2.5×2.5, 米国気象局=2.5×5.0, 英国気象局=2.5×5.0. (但し、英国気象局出力は、20°N 及び20°S より低緯度=5.0×5.0, 70—80°N 及び S =2.5×10.0, 80°N 以北=5.0×20.0, 80°S 以南=出力なし)
尚、80°S 以南は高層観測点が少なく、主要定期航空路も存在しないので、英国が80°S 以南を予報域に含めない事による検証結果の大勢への影響はない。
- ・尚、気象庁及び米国気象局の格子点予報値は二進形式 (=GRIB) により出力及び提供されているので、今回の調査ではそれらを英国気象局の提供形式と同じ十進形式による格子点予報値 (=ADF) に変換してから使用した。

b. 実況

予報検証用として、気球による高層観測データ (TEMP) 及び航空機による観測データ (AIREP) を用いた。(気象庁が収集・編集したものを使用した。)

尚、250 hPa の上下 500 m (=合計 1000 m) 以内の高度、及び 12 UTC の前後 2 時間の時間内に観測された AIREP は 12 UTC, 250 hPa に観測されたものと見做しそのまま検証に用いた。

(2) 方法

出力された予報風と実況風との差ベクトルの絶対値を求め、その根平均二乗誤差 (RMSE) から予報出力の精度を検証した。

具体的手順は以下の通り。

- ①TEMP 又は AIREP の通報された全観測地点について各々の緯経度を読み取る。
- ②各観測地点の緯経度における予報値を当該観測地点を取囲む格子点予報値から内挿する。
- ③上記②で算出した予報値を観測値と比較し両者の差を求める。
- ④これを各観測地点について毎日繰り返す。
- ⑤各観測地点の毎回の比較結果を、TEMP・AIREP 別に、一定の期間・地域毎に集計し誤差の RMSE を求める。この RMSE 値により各期間・地域における予報出力の精度を比較検討する。

資料整理に用いた地域名と路線名、及びその範囲は以下の通り。

a. 全球・8分割地域

- ①全球：全球の全予報領域

② 8 分割地域：全球を赤道, 東経0, 90, 180°及び西経 90°の各経度で 8 分割した各々の地域

b. 路線別調査地域. (括弧内はその概略範囲, 第 2 図 参照)

- ① 日本-米国東岸 (日本～アラスカ～米国東海岸)
- ② 日本-欧州 (日本～シベリア～欧州)
- ③ 日本-オセアニア (日本～豪州・ニュージーランド)
- ④ 日本-香港 (日本～香港)
- ⑤ 日本-ハワイ (日本～ハワイ)
- ⑥ 北太平洋 (ほぼ北緯35°以北の北太平洋)
- ⑦ 欧州-アラスカ (欧州～北極地方～アラスカ)
- ⑧ 欧州-南アジア (欧州～中東～タイ・シンガポール 地方)
- ⑨ 米国東岸-欧州西岸 (米国東海岸～北大西洋～欧州 西海岸)
- ⑩ 米国西岸-伯南東岸 (米国西海岸～中米～ブラジル 南東海岸)

3. 結果

第 1 表に全球及び 8 分割地域の予報検証件数を示す。日, 米, 英各国予報別検証件数は, TEMP による検証では順に, 234, 266件, 227, 932件, 226, 663件, AIREP による検証では, 97, 605件, 95, 027件, 94, 605 件であった。

日・米・英各国相互間で検証件数に相違があるのは予報資料収集に際し, ①英国気象局予報については日本航空が現業用に入手しているものを調査に用いている為, 同社便運航に関係ない地域の予報が予定時刻迄に入手できない場合は, 当該地域の入手を打ち切っている事, 及び, ②米国予報についても通信事情等の理由で部分的に入手出来ない場合がある事, 等に起因している。

TEMP, AIREP による何れの検証においても, 三国相互間の件数差が小さかったのに対し, TEMP, AIREP の違い及び予報地域の違いによる検証件数の差は著しく大きかった。

以下に地域・路線別の予報検証結果を示す。

3.1 全球 (第 2 表参照)

a. TEMP による検証

予報風と実況風の差ベクトルの絶対値の RMSE は日, 米, 英それぞれ19.7, 20.3, 21.4 KT であった。

また風向の RMSE は日, 米, 英の順に35.7, 37.1, 38.9°, 風速の RMSE は12.8, 13.3, 13.7 KT となった。

風速差の単純平均は, 日, 米, 英それぞれ -1.8,

-2.7, -2.5 KT であった。

b. AIREP による検証

予報風と実況風との差ベクトルの絶対値の RMSE は日, 米, 英それぞれ 23.8, 23.7, 24.4 KT であった。

風向, 風速予報の各 RMSE は, 日, 米, 英の順にそれぞれ35.8, 36.1, 37.5°及び 16.2, 16.3, 16.4 KT となった。

風速差の単純平均は, -2.8, -3.7, -2.5となり, TEMP の場合以上に米国の負側への偏りが目についた。

3.2 全球 8 分割

全球 8 分割の地域別に予報風の RMSE を求めた結果を第 3 表に示す。

a. TEMP による検証

風ベクトルの誤差は各国とも北半球の 90 E～180 E, 及び南半球の 90 W～180 W で相対的に小さく, 南半球の 00 E～90 E, 00 W～90 W で大きかった。

RMSE の最小値は 18.4 KT (日本, 北半球 90 E～180 E), 最大値は 27.5 KT (英国, 南半球 00 W～90 W) であった。

予報誤差を風向風速の要素別に見た場合も, 誤差ベクトルの場合とほぼ同様の地域特性が得られた。

b. AIREP による検証

南半球 00 E～90 E, 00 W～90 W では, 当調査に利用出来た AIREP 数が年間で1000件以下と極端に少なく地域代表性も不十分であるが, 検証結果はそのまま用いた。

風ベクトルの誤差は南半球の 00 W～90 W, 90 W～180 W で小さく, 北半球の 90 W～180 W, 南半球の 00 E～90 E で大きかった。

地域別 RMSE の最小値は 17.7 KT (英国予報, 南半球 00 W～90 W), 最大値は 27.3 KT (英国予報, 南半球 00 E～90 E) であった。

風向風速の要素別では南半球の 90 W～180 W で各国とも風向の誤差が大きかった。

c. TEMP, AIREP 検証で比較

各地域とも TEMP 比較による RMSE が AIREP 比較によるものより小さかった。但し, 南半球 00 W～90 W でのみ AIREP による RMSE が TEMP によるものより著しく小さかった。(但し, 当地域の AIREP 数は TEMP 数に比べて 2 桁小さく各国とも 50件未満である)

また, 予報を AIREP で検証した場合, TEMP で検証した場合に比べて著しく RMSE が増加する地域

第1表 TEMP, AIREP による地域別予報検証件数
(高度: 250 hPa. 期間: 1989年10月—1990年9月)

地域	TEMP			AIREP		
	日本	米国	英国	日本	米国	英国
全球	234,266	227,932	226,663	97,605	95,027	94,605
北半球						
00 E - 90 E	67,123	65,299	65,254	941	908	892
90 E - 180 E	74,637	72,570	72,585	38,701	37,603	37,657
180 W - 90 W	28,465	27,730	27,690	30,262	29,483	29,389
90 W - 00 W	32,863	32,000	31,970	18,661	18,215	18,205
南半球						
00 E - 90 E	7,157	6,985	6,519	79	79	53
90 E - 180 E	15,628	15,179	15,077	3,738	3,657	3,506
180 W - 90 W	2,159	2,102	2,081	5,174	5,033	4,858
90 W - 00 W	6,234	6,067	5,487	49	49	45

(注) 赤道上及び地域境界を示す経度線上のデータは、それぞれ、北半球側地域及び当該経度の東側の地域に含まれる。

第2表 実況風と各国予報風との差
(領域: 全球. 高度: 250 hPa. 期間: 1989年10月—1990年9月)

要素		単位	TEMP			AIREP		
			日本	米国	英国	日本	米国	英国
差ベクトルの絶対値	平均	KT	14.7	15.3	16.3	18.3	18.4	18.9
	RMSE	KT	19.7	20.3	21.4	23.8	23.7	24.4
風向差(注)	平均	DEG	-0.3	-0.4	0.4	0.0	-0.4	0.1
	RMSE	DEG	35.7	37.1	38.9	35.8	36.1	37.5
風速差(注)	平均	KT	-1.8	-2.7	-2.5	-2.8	-3.7	-2.5
	RMSE	KT	12.8	13.3	13.7	16.2	16.3	16.4
データ数			234266	227932	226663	97605	95027	94605

(注) ここでは「風向差」及び「風速差」は、「(予報風) - (実況風)」のそれぞれ風向差及び風速差で定義する。

は、北半球の 90 W ~ 180 W (5.4 KT), 及び 90 E ~ 180 E (4.0 KT) であった。(括弧内は RMSE 値の AIREP - TEMP 差)

尚, TEMP, AIREP 何れの検証の場合も観測 DATA 数の多少と当該地域の RMSE との間に直接的な関係は見られなかった。また, 南半球の 90 W ~ 00 W ~ 90 E にかけての地域は, TEMP 検証時の RMSE が大きかったが, この事と当該地域で AIREP DATA (= 洋上の実況) が極端に不足している事との間にどのような関係があるかは, この調査では不明である。

3.3 代表路線

第4表に示されるが如く, 路線, 及び TEMP - AIREP の違いによる検証数のばらつきが大きい。例えば, 日本 - 欧州路線では, TEMP と AIREP による検証件数との間には, 2 桁の違いが見られる。一方予報国の違いによる検証件数の差はほぼ 2 ~ 4 % 以内

に収まっている。

各路線別に得られた RMSE 値を第5表に示す。

a. TEMP による検証

日本 - 香港, 日本 - 米国東岸で RMSE が小さく, 欧州 - 南アジア, 米国西岸 - 伯南東岸では相対的に大きな値となった。

各路線別 RMSE の最小値は日本 - 香港の 17.2 KT (日本), 最大値は日本 - ハワイの 23.7 KT (英国) であった。

また, 三国相互間の相違が最も大きかったのは, 日本 - ハワイの 3.8 KT (日英間), 最も小さかったのは米国東岸 - 欧州西岸の 0.7 KT (米日間) であった。

b. AIREP による検証

日本 - 欧州, 米国西岸 - 伯南東岸, 欧州 - 南アジア, の3路線では当調査に利用出来た AIREP 数が年間で 1000 件以下と少なく路線代表性も不十分であるが, 以

第3表 地域別に見た各国予報風の RMSE (KT)

(高度: 250 hPa. 期間: 1989年10月—1990年9月)

(a)TEMP による検証						(b)AIREP による検証					
	00 E	90 E	180 E	90 W	00 W		00 E	90 E	180 E	90 W	00 W
90 N	日本	20.2	18.4	20.3	19.9	90 N	日本	22.3	23.1	26.7	22.5
	米国	21.1	19.3	20.7	19.9		米国	22.5	23.2	26.0	22.6
	英国	22.0	20.6	22.3	21.1		英国	23.0	24.0	26.7	22.9
	平均	21.1	19.4	21.1	20.3		平均	22.6	23.4	26.5	22.7
00 N	日本	24.7	20.1	18.7	26.4	00 N	日本	24.5	21.9	20.3	18.8
	米国	24.4	20.5	18.7	25.8		米国	24.8	22.1	20.2	19.4
	英国	25.1	22.0	20.3	27.5		英国	27.3	23.5	21.5	17.7
	平均	24.7	20.9	19.2	26.6		平均	25.5	22.5	20.7	18.6
90 S						90 S					

(注) 赤道上及び地域境界を示す経度線上のデータは、それぞれ、北半球側地域及び当該経度線の東側の地域に含めてある。

下では結果をそのまま用いる。

各国とも日本—香港, 欧州—南アジア, 欧州—アラスカ, 日本—オセアニア, で RMSE が小さく, 米国西岸—伯南東岸, 北太平洋, 日本—米国東岸, 日本—ハワイで相対的に大きかった。特に, 米国西岸—伯南東岸においては RMSE は著しく大きな値となった。

全路線中の最小 RMSE は日本—香港の 20.2 KT (日本) で, 最大 RMSE は米国西岸—伯南東岸の 36.3 KT (日本) であった。

また, 三国相互間の相違が最も大きかったのは, 日本—香港間の 1.7 KT (日英間), 最も小さかったのは米国東岸—欧州西岸の 0.3 KT (日米間) であった。

c. TEMP, AIREP 検証の比較

三国平均 RMSE 値を全路線について平均すると, TEMP による検証値は AIREP によるそれと比較し 3.9 KT 小さかった。

路線毎の RMSE 最大・最小差を全路線について平均した値は, TEMP による検証の場合 1.9 KT, AIREP による検証の場合 0.9 KT となり, AIREP による場合の方が三国相互間の違いが小さかった。

また三国平均 RMSE の最小路線と最大路線との差は TEMP 検証による場合 3.6 KT, AIREP の場合は 14.5 KT (米国西岸—伯南東岸路線を除外した場合は 4.6 KT) となり, AIREP により検証した場合の方が路線差が大きい結果となった。

路線別に TEMP, AIREP 検証結果を相互に比較すると, 欧州—南アジアを除く他の全ての路線において TEMP 検証結果による RMSE 値が AIREP 検証によるものより小さな値を示した。(第5表及び第2図)

両者の差が最も大きかったのは米国西岸—伯南東岸

でここでは 13.6 KT に達した。次に大きかったのは北太平洋の 5.6 KT, 次いで日本—米国東岸の 5.3 KT であった。一方, 両者の差が最も小さかった路線は欧州—アラスカでその TEMP-AIREP 検証結果の差は 1.1 KT に留まった。

TEMP-AIREP の検証結果を総合的に見ると, 第2図に見られる如く, 洋上飛行路線における AIREP 検証結果の TEMP 検証結果に比べての悪化傾向が目についた。

3.4 季節変動

一般に予報誤差は冬季が夏季に比べて大きいとされる。今回の調査では基本的にはこれを支持する結果が得られた。然し, 各路線毎に見ると第3図の如く当該路線地域, TEMP-AIREP の違い等によりまちまちである事が確認出来た。

第3図(a) (b)は中緯度及び高緯度路線の例である。同じ北半球ながら季節変化の傾向は明らかに異なる。

また, 赤道をはさむ両半球にまたがる路線では, 日本—オセアニアは1月にピークを持つ孤峰型であるのに対し, 米国西岸—伯南東岸は山脈型となっている。(第3図(c) (d)). 尚, 日本—オセアニアの AIREP による検証では第3図(c)とは逆に, 三国とも1月の RMSE が7月より小さい値となった。

第3図(e) (f)は北太平洋地域の, それぞれ TEMP と AIREP とによる検証結果である。両者を比較すると, AIREP による結果が TEMP による検証結果より悪い値となっている事が目につく。また TEMP 検証において, 夏季より冬季の方が良い RMSE 値となっている事も注目される。

次に, 日本—ハワイ間について見ると, AIREP 検証

第4表 路線別予報検証件数

(a)TEMP による検証数

(高度:250 hPa. 期間:1989年10月—1990年9月)

予報作成国 路線	日本	米国	英国
日本—米国東岸	17,810	17,335	17,341
北太平洋	9,761	9,510	9,494
日本—ハワイ	1,575	1,531	1,531
日本—欧州	29,521	28,705	28,719
米国東岸—欧州西岸	2,820	2,745	2,738
欧州—南アジア	16,352	15,913	15,900
日本—オセアニア	9,138	8,879	8,894
欧州—アラスカ	18,070	17,592	17,566
日本—香港	6,474	6,303	6,304
米国西岸—伯南東岸	7,774	7,569	7,276

(b)AIREP による検証数

(高度:250 hPa. 期間:1989年10月—1990年9月)

予報作成国 路線	日本	米国	英国
日本—米国東岸	17,672	17,185	17,169
北太平洋	39,154	38,132	38,133
日本—ハワイ	17,193	16,741	16,779
日本—欧州	145	140	141
米国東岸—欧州西岸	9,456	9,188	9,274
欧州—南アジア	447	429	438
日本—オセアニア	6,336	6,141	6,185
欧州—アラスカ	14,624	14,291	14,261
日本—香港	4,220	4,092	4,100
米国西岸—伯南東岸	313	303	301

第5表 路線別に見た予報風の RMSE (KT)

(高度:250 hPa. 期間:1989年10月—1990年9月)

		日本 — 香港	日本 — 米国東岸	米国東岸 — 欧州西岸	日本 — オセアニア	北 太 平 洋	欧州 — アラスカ	日本 — 欧州	日本 — ハワイ	米国西岸 — 伯南東岸	欧州 — 南アジア	平 均
TEMP による 検証	路線成績	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	—
	日本	17.2	18.8	19.9	18.7	19.1	19.5	19.6	19.9	21.6	21.5	19.6
	米国	18.5	19.1	19.2	19.9	19.9	20.3	21.3	21.3	21.1	22.1	20.3
	英国	20.1	20.4	19.8	20.8	21.0	21.5	21.8	23.7	23.0	23.0	21.5
	三国平均	18.6	19.4	19.6	19.8	20.0	20.4	20.9	21.6	21.9	22.2	20.4
AIREP による 検証	最大最小差	2.9	1.8	0.7	2.1	1.9	2.0	2.2	3.8	1.4	1.5	1.9
	路線成績	1	8	6	4	9	3	5	7	10	2	—
	日本	20.2	24.4	23.7	21.4	25.6	21.3	22.8	24.1	36.3	21.5	24.1
	米国	20.8	24.4	24.0	22.1	25.4	21.5	22.1	24.2	34.2	20.5	23.9
	英国	21.9	25.2	23.9	22.7	25.8	21.8	23.5	25.1	36.1	21.7	24.8
TEMP と AIREP の差	三国平均	21.0	24.7	23.9	22.1	25.6	21.5	22.8	24.5	35.5	21.2	24.3
	最大最小差	1.7	0.8	0.3	1.3	0.4	0.5	1.4	1.0	2.1	1.2	0.9
TEMP と AIREP の差		2.4	5.3	4.3	2.3	5.6	1.1	1.9	3.9	13.6	-1.0	3.9

- 注. 1. 「路線成績」: TEMP, AIREP それぞれで当該路線の RMSE の良い順に番号を付した.
 2. 「最大最小差」: RMSE (最大国の値) — RMSE (最小国の値).
 3. 「TEMP と AIREP の差」: RMSE (三国平均の AIREP 値) — RMSE (三国平均の TEMP 値).

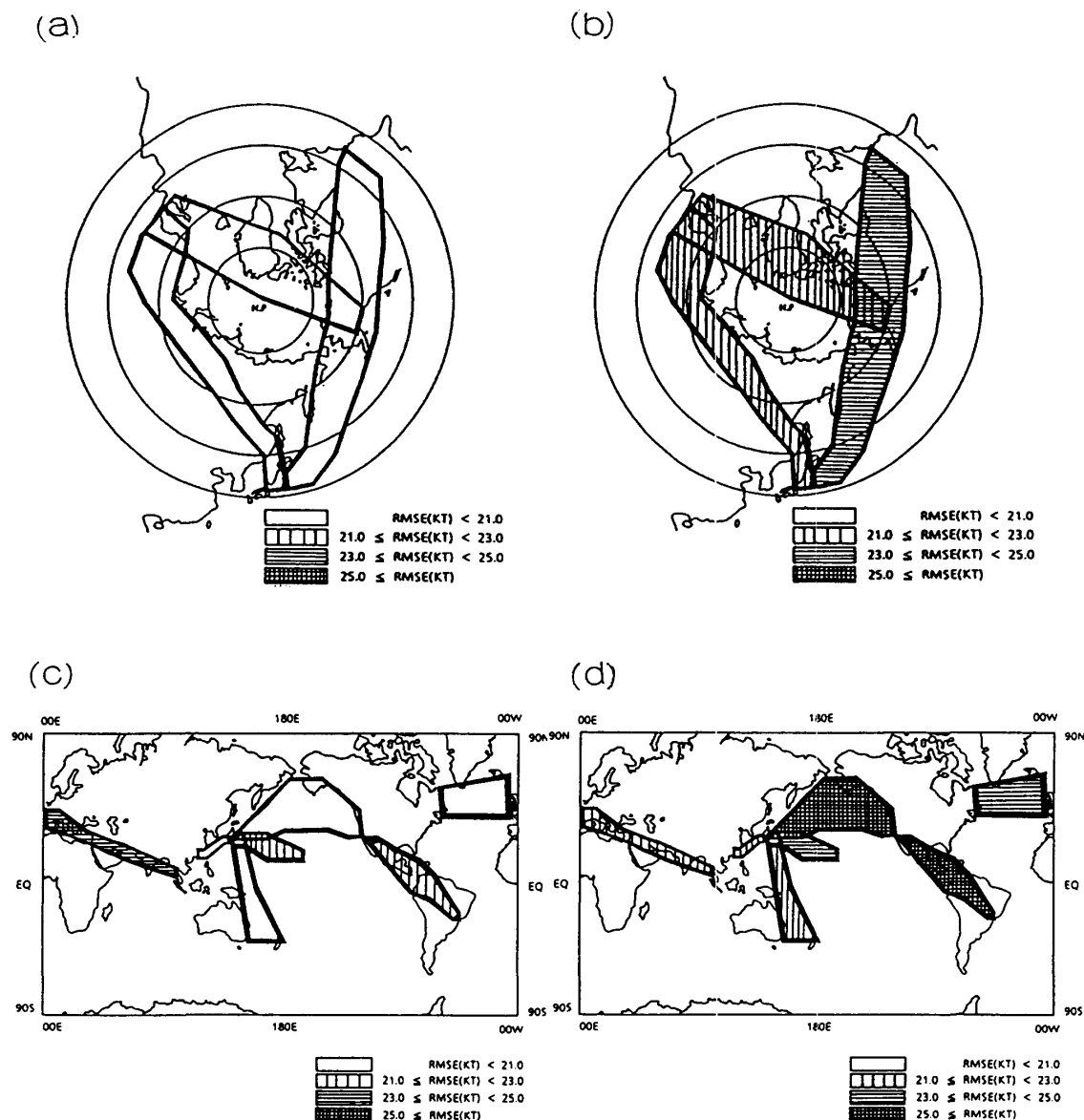
による傾向は北太平洋とほぼ同様であるが, TEMP 検証においては月及び予報国の違いによるバラツキが大きい事が目立つ. (第3図(g) (h))

また, 北米西岸—伯南東岸の AIREP 検証に於いては, 5~8月を除く各月で RMSE が著しく大きな値 (最大値 60.1 KT, 3月, 英国予報) となった. これは, 当路線における検証数が少ない条件下での結果ではあるものの, 楠 (1990) が指摘した, 1989年10~12月のメキシコ地域において AIREP 値と6時間予報値との

差が大きかった事, と矛盾しない結果となっている. また, 当該路線を飛行する多くの機長から聞かれる「当該路線の予報風は当たりにくい」旨の体験談とも定性的には矛盾しない.

4. 考察

この調査では, 数値予報利用者にとっての予報精度を検証する観点から, 英・米から飛行計画作成用として提供される内容, 及び気象庁出力の内容に手を加え



第2図

- (a) 代表路線地域に於ける予報風の三国平均 RMSE (250 hPa. TEMP による検証).
- (b) 代表路線地域に於ける予報風の三国平均 RMSE (250 hPa. AIREP による検証).
- (c) 代表路線地域に於ける予報風の三国平均 RMSE (250 hPa. TEMP による検証).
- (d) 代表路線地域に於ける予報風の三国平均 RMSE (250 hPa. AIREP による検証).

る事は敢えて行わず、飛行計画に実際に使用するままの状態それぞれの精度を調査した。

その結果、日・米・英三者の予報から、ほぼ共通する地域特性及び季節特性が得られた。

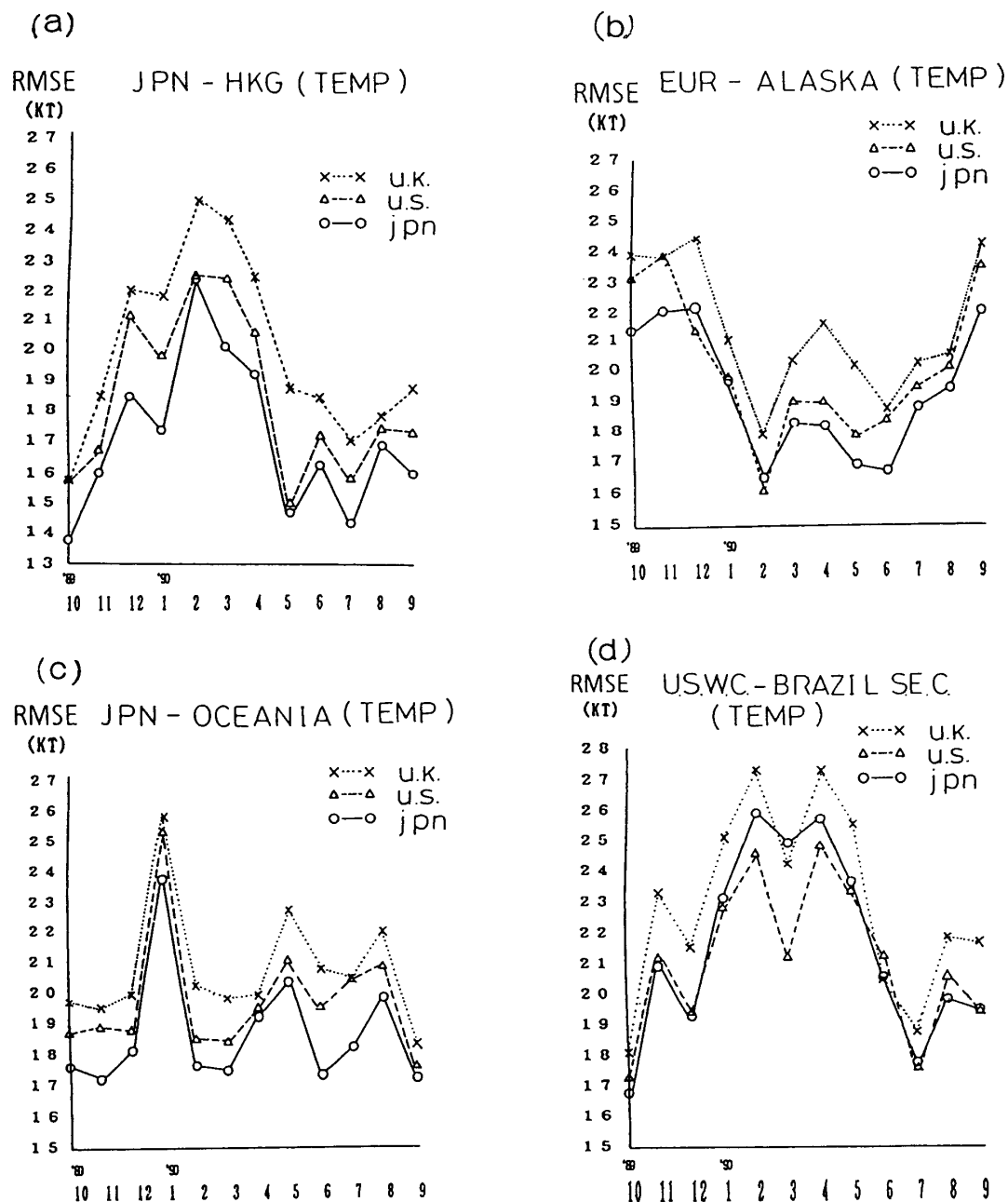
また、三者の予報精度もほぼ同じ水準である事が確認出来た(第2表)。但し、この調査では三者の格子点間隔、及び検証数に違いがあり、これがどの程度検証結果に影響しているかは不明である。

尚、各国数値予報センターでの精度評価結果が平・

田中(1989)によって紹介されているが、それによると日・米・英の予報精度はほぼ同水準にあり、本調査の結果は基本的にはこれと矛盾しない。

ここで AIREP による検証結果が、TEMP による検証成績より全般に悪かった理由について検討する。

先ず、AIREP 報告においては ICAO (International Civil Aviation Organization=国際民間航空機関) 規則で10分間平均風を報じる事になっている事の関係等から、風速値が5の倍数値で報じられている場合も一



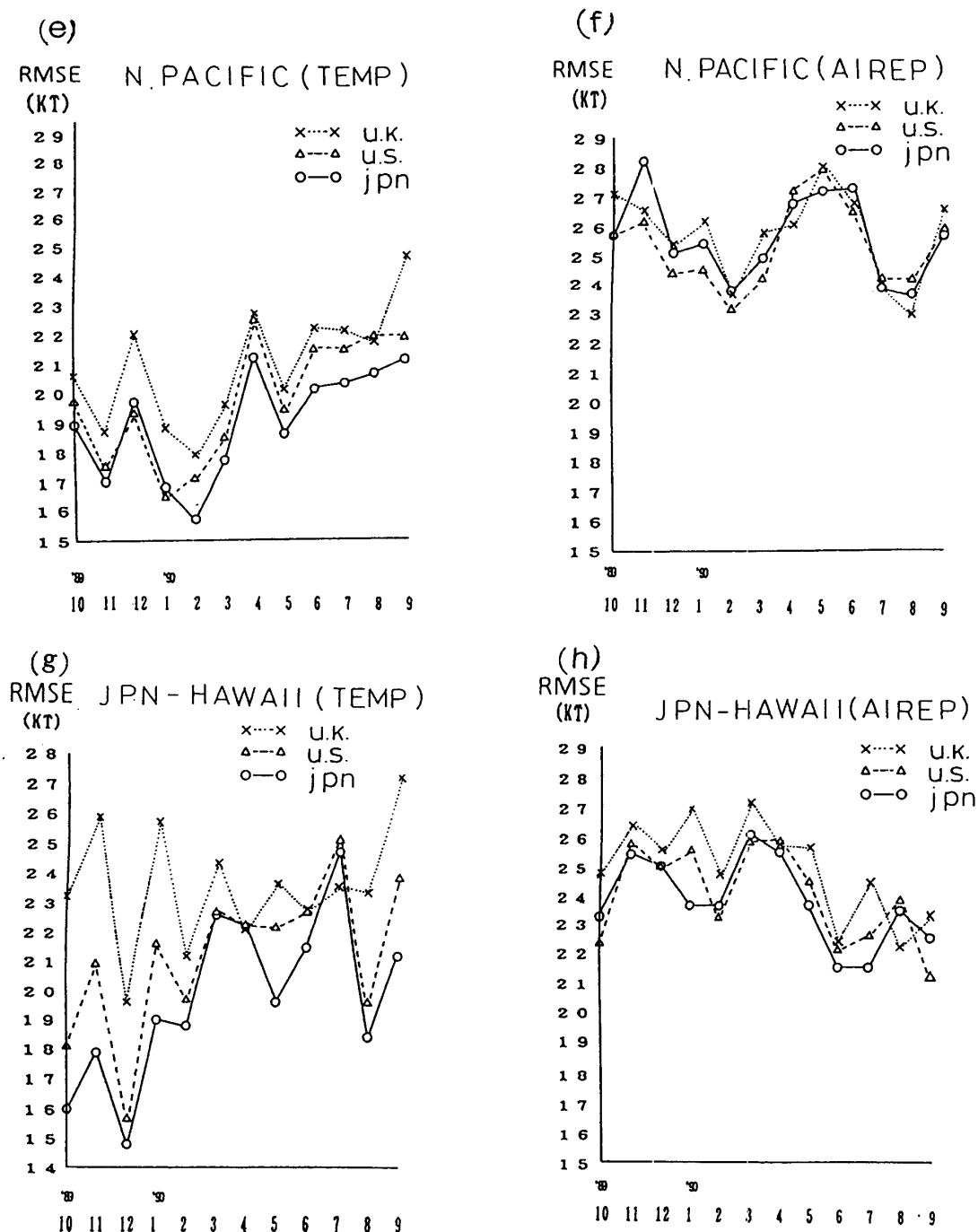
第3図

- (a) 予報風の月平均 RMSE 日本—香港 (250 hPa. TEMP による検証).
 (b) 予報風の月平均 RMSE 欧州—アラスカ (250 hPa. TEMP による検討).
 (c) 予報風の月平均 RMSE 日本—オセアニア (250 hPa. TEMP による検証).
 (d) 予報風の月平均 RMSE 米国西岸—伯南東岸 (250 hPa. TEMP による検証).

部にあり、これによる影響が考えられる。然し、仮に全便の報告がそうであったとしても、この影響は最大でも ± 2 KT 以下であり、3.2c 及び 3.3c で示した誤差に比べて遙かに小さい。従って、これを AIREP による検証成績悪化の主因とするのは適切でないと考えられる。

次にこの調査に於ける AIREP の観測時刻及び高度

範囲の問題がある。当調査では 12 UTC の前後 2 時間以内、高度 250 hPa の上下各 500 m 以内で観測された AIREP は、12 UTC, 250 hPa のものとして重みをつけずに処理してある。従ってこれに起因する観測値のずれも「誤差」に寄与している可能性があるが、AIREP と TEMP による検証成績の差が全球的に一樣ではない事から、これも直ちに両者の差の主因とは



第3図 (続き)

- (e) 予報風の月平均 RMSE 北太平洋 (250 hPa. TEMP による検証).
- (f) 予報風の月平均 RMSE 北太平洋 (250 hPa. AIREP による検証).
- (g) 予報風の月平均 RMSE 日本一ハワイ (250 hPa. TEMP による検証).
- (h) 予報風の月平均 RMSE 日本一ハワイ (250 hPa. AIREP による検証).

考え難い.

徒って, 以上及び AIREP による検証成績低下が TEMP 観測点の少ない洋上地域で著しい事から, 残された可能性としては洋上での予報誤差そのものが AIREP 成績悪化の原因として考えられる.

一方, AIREP による検証結果が TEMP による成

績を上回る地域 (欧州一南アジア線) も見られた. この地域は陸上が主で TEMP 観測点数も豊富だが, 他の路線の検証結果と比較すると, AIREP による検証成績は第2位であるのに対し, TEMP による結果は最下位の10位となっている. 即ち, 陸上であるにも拘らず TEMP 検証結果を見る限り必ずしも好成绩とは

なっていない。

また、洋上であっても、例えば南半球の 90 W～180 W (=殆ど海洋のみ) の地域で検証成績が良く、同じ経度帯で然も北米大陸の一部を含む、北半球の 90 W～180 W で成績が悪い、と言う結果も得られている。海洋面積の比率が大きく、AIREP, TEMP 数の少ない南半球側の精度が良かった理由については、観測点の分布やジェット気流の蛇行等との関係も含め、今後更に詳しい調査が必要と思われる。

5. まとめ

この調査では、国際民間航空が飛行計画作成に利用している上層風予報の、提供利用段階における精度を、TEMP 及び AIREP を用いて調べた。調査対象は国際規約に基づき英・米から航空会社に提供されている格子点予報値、及びそれに相当する気象庁から現時点で入手出来た格子点予報値の、何れも 250 hPa, 24時間予報であった。その結果以下の事実が明らかになった。

①日・米・英三国の予報出力の精度に大きな違いはなく、精度は予報国より季節や地域の違いにより遙かに大きな影響を受けていた。

②AIREP による予報精度の検証結果は、TEMP による検証結果より全般的に悪かった。特に洋上路線での傾向が著しかった。

③全球を 8 分割し各地域の予報精度を TEMP により検証した結果、各国予報とも南半球の 90 W～180 W, 北半球の 90 E～180 E で精度が高く、南半球の 90 W～00 W～90 E の地域で精度が低かった。

④AIREP による検証結果では、北半球の 90 W～180 W で精度が最も低く、全球を 8 分割した地域の中で海洋の占める面積比率が最大である南半球の 90 W～180 W の地域及びその東側地域で成績が良かった。

⑤路線別の検証では、予報精度は日本ー香港線で最も高く、北太平洋を中心とする洋上路線では AIREP による精度が低かった。また、同じ南北方向の路線でも、欧州ーアラスカ線、日本ーオセアニア線、では比較的精度が良かったが、米国西岸ー伯南東岸線で精度が低かった。

⑥各路線毎の月別精度変化傾向は各国予報ともほぼ

同様の傾向を示したが、日本ーハワイ線では三国間のばらつきが大きかった。また、北太平洋線の TEMP による検証結果では、冬季の方が夏季より精度が高かった。

⑦米国予報は予報風速が弱めに出る傾向が強く、特に AIREP による検証でその偏りが大きかった。

6. おわりに

今回の調査は条件が一律でなく三国の予報精度の優劣を客観的に比較する事は出来なかった。然し、航空利用者として実用性の観点から今回の三者の最終製品を眺めた場合、気象庁の内容が最も好ましい、との印象を持った。

国際民間航空の為の数値予報利用の立場からは、地域・季節により複雑に変化する予報精度に改善の余地は未だ十分あると考えられるが、改善の為の方法の一つとして、今後、空地データリンクの活用等による航空機観測報告の収集強化が、より一層促進されるべきと考えられる。

気象・航空関係者等の協力により、予報精度が更に向上して行く事を期待したい。

謝 辞

当調査に際し気象庁数値予報課には資料提供を始め全面的なご協力を戴いた。また同課の平隆介、長谷川直之の両氏には数値予報専門家の立場から貴重な助言を戴いた。山口榮次氏には本誌への投稿の直接的契機となる激励を戴いた。査読者には数々のご指摘と有益なご助言とを戴いた。

以上の方々に対し記して感謝の意を表する次第です。

参 考 文 献

- 楠昌司, 1990: AIREP データについて, 数値予報課報告別冊第36号, 気象データと客観解析, 気象庁予報部, 57-59.
- 平隆介, 田中省吾, 1989: 航空気象と GPV, 数値予報解説資料(22), 平成元年度数値予報研修テキスト, 数値予報と GPV, 気象庁予報部, 75-77.