

東支那海横断気球の実現性に関する 気象学的考察

山中 大学*・西村 純・秋山 弘光

(1983年5月27日受理)

Meteorological Feasibility on Trans-East-China-Sea Flights

By

Manabu D. YAMANAKA, Jun NISHIMURA and Hiromitsu AKIYAMA

Abstract: In order to get longer duration observations without lacking the recovery safety, the Trans-East-China-Sea balloon flights launching from Japan towards China are proposed and studied on their feasibility from a meteorological point of view. Wind data at 15-5 mb over the East China Sea are analyzed to lead two feasible cases: (i) launching from Kyushu Island in May, September or October, observation durations are expected to be 20-55 hours for 1000 km spans; (ii) launching from Ogasawara Islands in June, July or August, durations of 15-25 hours can be achieved for about 2000 km spans. In the latter season, with launching from Kyushu, observation durations are too short as only 10 hours or so. In respect of telemetry-telecommand coverage ranges, the first case is considered to be more practical. However, in point of meridional deviation of landfall, the mid-summer case is rather reliable. These conclusions are confirmed by studies of staff members of Chinese side. Here we also add some meteorological considerations to improve the safety of successful flights. The results contain the predictability of balloon flight trajectories which leads to the fact balloons may be not so apart from the latitude line passing the launch site.

概 要

数日以上の長時間観測を実現するため日本で放球し中国で回収す

* 名古屋大学大学院理学研究科の委託による宇宙科学研究所大学院受託学生

る東支那海横断気球(スパンは1000~2000 km)の実現性について大気力学的見地から検討してみる。日本側の15~5 mbの資料から、(i) 5月または9~10月に九州から放球する場合(期待される観測時間:20~55時間), および(ii) 7月に小笠原から放球する場合(期待される観測時間:15~25時間), の二つが見出される。後者のように盛夏の場合は九州からでは10時間程度の短い観測時間しか期待できないが, 気球の南北端の面からは盛夏は最も良い季節と言える。以上の結果は中国側の資料からも確認できる。さらに, 各観測点の相関や成層圏天気図について調べたところ, 晩春や初秋の風速風向分散が大きい頃も気球は1日程度あるいは1000 km程度の飛翔でもとの緯度線に回帰する可能性がかなり大きいと考えられる。

1. はじめに

大気球搭載観測器の目覚ましい発展とこれまでの科学的成果の蓄積にともない, 長時間大気球観測の必要性が強く指摘されるようになってきた。長時間安定した高度から観測を行なうことは科学観測用飛翔体としての大気球の他のものにはない利点であり, 出現の稀な現象や長周期の現象を観測する宇宙物理・地球物理の研究者からの期待は年々高まっている。すでに欧米諸国では大西洋横断気球(Trans-Atlantic Balloon)や地中海横断気球(Trans-Mediterranean Balloon)が上の目的のために計画され実行されている[1][2][3]。

日本ではこれまで上層風を最大限に利用する長時間飛翔法としてブーメラン気球, パトリール気球, 新ブーメラン気球など[4], また長距離飛翔法としてのリレー気球[5]が工夫されてきた。しかし, 回収の問題まで含めて考えると今以上の長時間距離を可能にするためには国内での飛翔法ではやはり限界があると考えられる。日本で放球し15~5 mb(28~34 km)高度を飛翔するような海洋横断気球としては冬季の偏西風を利用する太平洋横断気球(Trans-Pacific Balloon)と夏季の偏東風を利用する東支那海横断気球(Trans-East-China-Sea Balloon)の二通りが考えられる。前者については数年前から気象学的実現性などを中心に準備が続けられている[6]。これに対し後者の東支那海横断の場合はごく最近提案されたものであるが日中両国の気球関係者が緊密に技術交流を行なうようになって急速に具体化してきたものである[7][8]。

この東支那海横断気球の気象学的実現性を述べるのが本論文の目的である。最初に地理的位置を概観(第2章)したあと, 気象庁刊行の高層気象資料[9]を用いて, 平均的東西風速による観測時間の見積り(第3章), および風向分散による回収場所の南北偏位の推定(第4章)について述べる。さらに, 気球高度の風の変動の水平的状況を眺め(第5章), 以上の考察をもとに風の予報や信頼性について議論する(第6章)。最後に追尾など工学的な面について付記する(第7章)。

2. 地 理 的 位 置

理想的な東支那海横断気球の飛翔経路はほぼ $30^{\circ}\sim 32^{\circ}\text{N}$ の緯線に沿うものと考えられる。夏のほぼ真東の風に乗せること（後述）から、これは日本から直接に中国に達する唯一のコースである。したがって日本側の放球場所としては南九州または小笠原が考えられ、中国側の回収場所は安徽省（Anhui Province）または江蘇省（Jansu Province）あたりが想定できる（図 1）。以下本論文に登場する各地点の地理的位置を表 1 にまとめておく。



図 1 東支那海横断気球関連地図。図中の円は鹿児島および上海を中心とする半径 500 km の範囲を示す。

表 1 関係諸地点の地理的位置の一覧表

鹿児島宇宙空間観測所(KSC)	$31^{\circ}15'\text{N}$	$131^{\circ}05'\text{E}$
鳥島(Torishima)	$30^{\circ}29'$	$140^{\circ}08'$
三陸大気球観測所(SBC)	$39^{\circ}10'$	$141^{\circ}50'$
上海(Shanghai)	$31^{\circ}12'$	$121^{\circ}26'$
南京(Nanking)	$32^{\circ}05'$	$118^{\circ}45'$
北京(Beijing)	$39^{\circ}56'$	$116^{\circ}20'$
嘉手納(Kadena)	$26^{\circ}21'$	$127^{\circ}45'$
Mosulpo(韓国)	$33^{\circ}11'$	$126^{\circ}13'$
綾里(Ryori)	$39^{\circ}02'$	$141^{\circ}50'$
父島(Chichijima)	$27^{\circ}05'$	$142^{\circ}11'$
潮岬(Shionomisaki)	$33^{\circ}27'$	$135^{\circ}46'$
八丈島(Hachijojima)	$33^{\circ}07'$	$139^{\circ}47'$
館野(Tateno)	$36^{\circ}03'$	$140^{\circ}08'$
仙台(Sendai)	$38^{\circ}16'$	$140^{\circ}54'$
秋田(Akita)	$39^{\circ}43'$	$140^{\circ}06'$
三沢(Misawa)	$40^{\circ}41'$	$141^{\circ}23'$
札幌(Sapporo)	$43^{\circ}03'$	$141^{\circ}20'$
稚内(Wakkanai)	$45^{\circ}25'$	$141^{\circ}41'$

南九州から放球して安徽・江蘇両省に達するまでのスパンは 1000~1400km である。この場合、日本側の放球場所としては宇宙研鹿児島宇宙空間観測所 (KSC) が想定できる。偏東風の風速を 10 m/sec 程度とすると 1000 km の飛行中の観測時間は約 25 時間となる。受信限界を約 500 km と考えると、上海 (Shanghai) または南京 (Nanking) に中国側受信点を仮定して気球追尾をずっと続けることが可能である (第 7 章参照)。一方、小笠原諸島から放球する場合は鳥島が地理的に最適である。この場合スパンは約 2000 km で、10 m/sec の偏東風に対する観測時間は約 50 時間と期待できる。

3. 観測時間に関する可能性

中層大気の大循環はオゾンの吸熱量に従って第一義的に支配され、夏半球では極を中心とする半球規模の高気圧となる [10]。東支那海横断に利用する夏の東風は、中緯度の 15~15 mb (28~34 km) 高度においては、平均的に 5 月に始まり 10 月に終る (図 2)。平均的東風を眺めるかぎり 30°N 付近と三陸との上層風は、冬のアリューシャン高気圧の影響が三陸において顕著に現われている点を除き、ほとんど変わらない。とくに問題となる夏の風系は平均的に同じと言ってよく、このことは 7 月の成層圏天気図を見れば等勾配同心状の等高線となっていることからよくわかる (図 3)。しかし大気力学的に見れば 30°N という緯度は赤道域 (15°S~15°N) 成層圏の準二年周期振動の影響がある可能性がある [10] [13]。

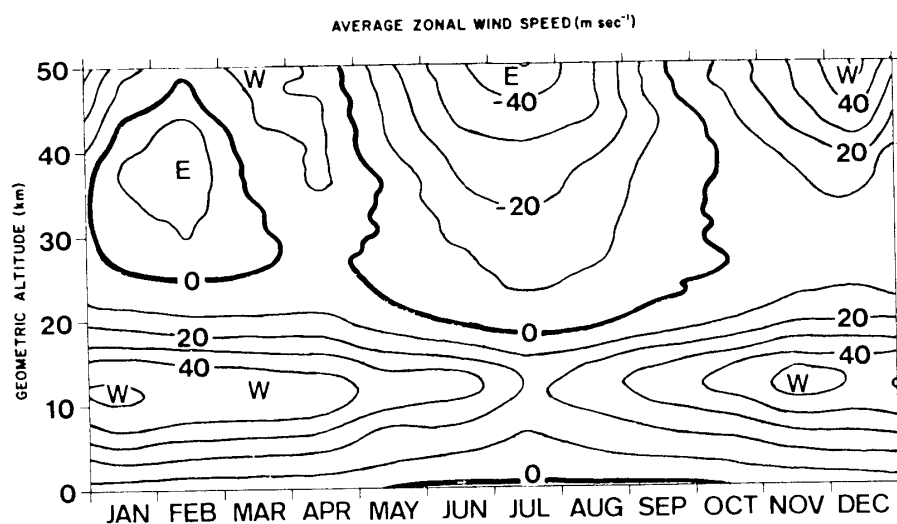


図 2 対流圏・成層圏東西風の平均的な季節変化。綾里・秋田・仙台の資料 [9] による。

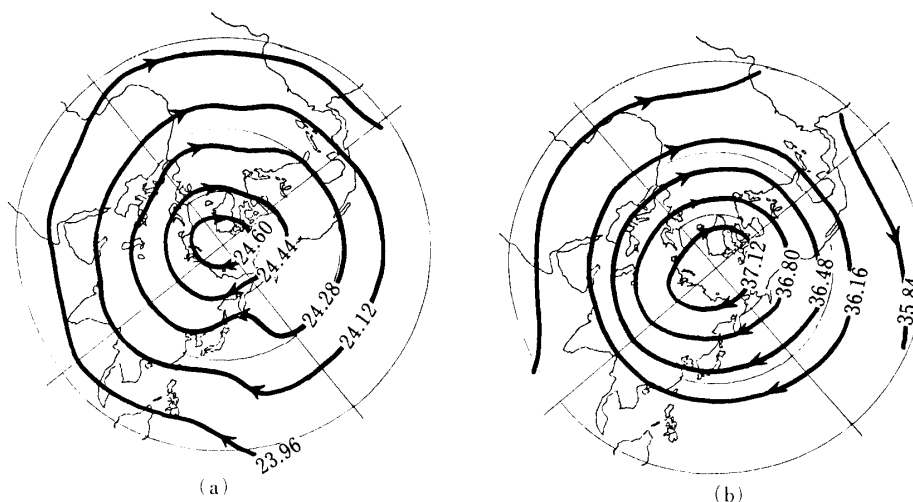


図 3 盛夏の成層圏風系。(a)1982 年 7 月 2 日 (30 mb 面, 約 24 km 高度), [11]による。(b)1976 年 7 月 7 日 (5 mb 面, 約 36 km 高度), [12]による。(等高線の単位は gpkm)

気象庁刊行の高層気象資料[9]掲載の東支那海岸の観測点のうち比較的高高度までの情報が豊富な、沖縄本島の嘉手納および韓国済州島の Mosulpo の 15 mb (約 28 km), 10 mb (約 31 km), 5 mb (約 34 km) の 1967~71 年の風の資料に基く解析結果を以下に紹介する。まず 1 ヶ月間の風速ベクトルを順に結んで得た hodograph から、5 月や 9 月は一応 15 m/sec 程度の東風が卓越しているものの日々の変動は大きく、また 7 月頃は 30 m/sec を越える東風が比較的定常的に吹いていることがわかる (図 4)。次に 15~5 mb の各観測値をそれぞれ 1 ヶ月単位で風速のヒストグラムにまとめてみると一標準偏差分 (68 %) が 5~15 m/sec (5, 9, 10 月), 25~35 m/sec (6~8 月) となることがわかる (図 5)。

以上の考察から、東支那海横断気球は飛翔高度の風速による観測時間に従って次の二つのケースが実行意義があると言える：

- (i) KSC あるいはその付近から 5 月または 9~10 月に放球する。この場合東風速は 5~15 m/sec で中国東岸までの 1000 km の飛翔において 19~55 時間の観測時間が期待できる。
- (ii) 鳥島から 6~8 月に放球する。この場合の東風速は 25~35 m/sec で 2000 km のスパンに対し 16~22 時間の観測が可能である。

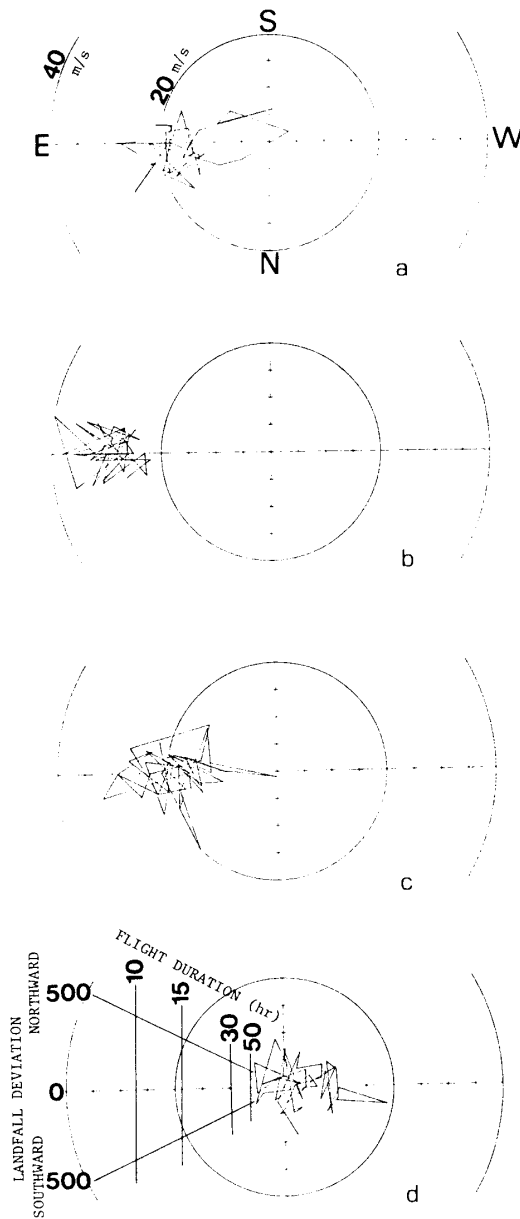


図4 1ヶ月間の風の変動状態を示すホドグラフ. 1970年の嘉手納の10 mb面(約31 km高度)[9]による. (a)5月, (b)7月, (c)9月, (d)10月(飛翔時間および南北偏位の推定値を付す).

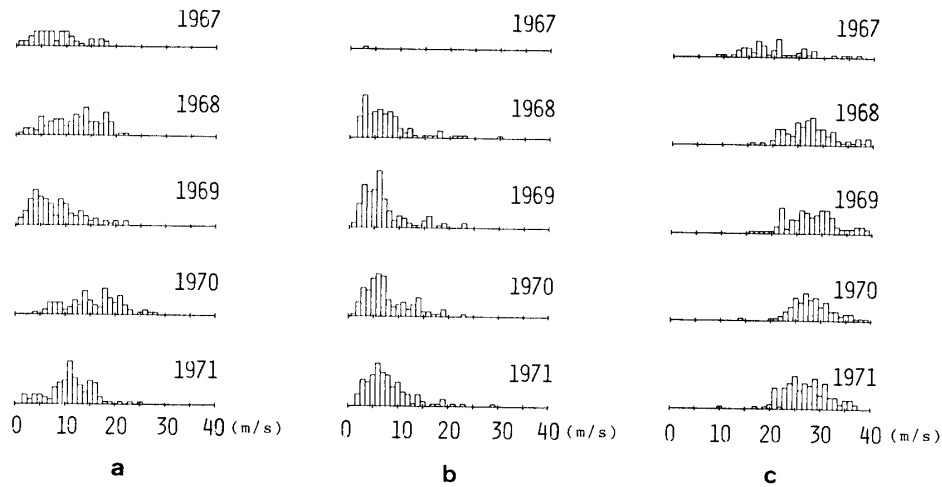


図 5 1 ヶ月間の風速ヒストグラム。
1967～71 年の 15 mb 面 (28 km 高度), 10 mb 面 (31 km 高度), 5 mb 面 (36 km 高度) の資料[9]による。(a) 5 月の嘉手納, (b) 5 月の Mosulpo, (c) 7 月の嘉手納。

4. 回収場所の南北分散

嘉手納および Mosulpo の 15～5 mb の風向のヒストグラムを作ると, 前述の (i) については標準偏差で $\pm 15^\circ$ (回収場所が上海付近の南北それぞれ約 25 km にひろがることを意味する), また (ii) については $\pm 15^\circ$ (南北それぞれ約 170 km の範囲) となる (図 6)。なお以上の結果は中国側の解析によっても同様であった (図 7) [14]。

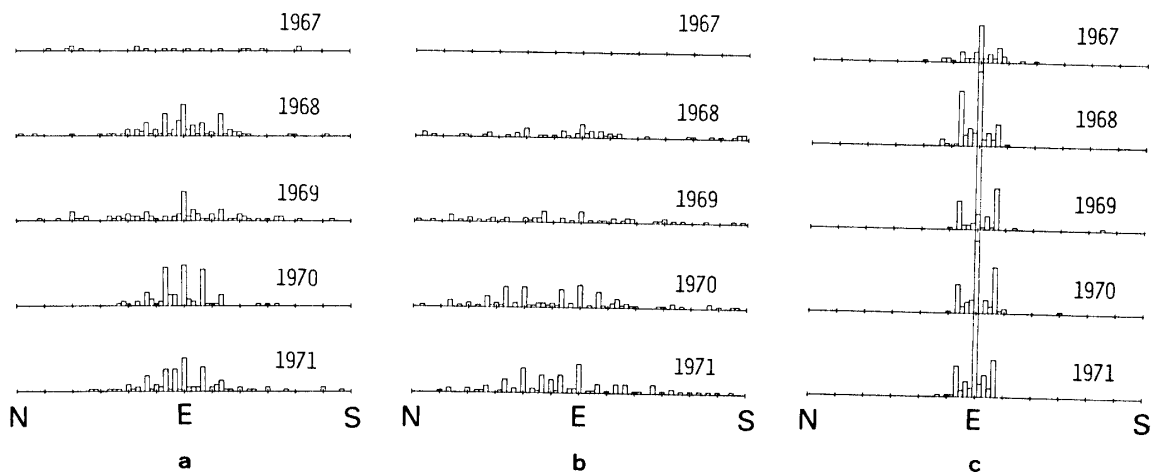


図 6 1 ヶ月間の風向ヒストグラム。図 5 と同じ資料による。(a) 5 月の嘉手納, (b) 5 月の Mosulpo, (c) 7 月の嘉手納。

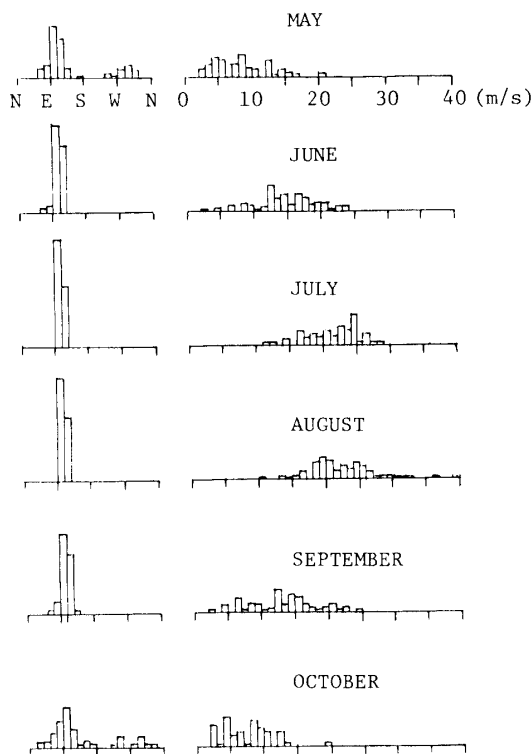


図7 図5, 図6と同様な1965~82年の
上海の30 km 高度における図. 中
国側の解析による[14].

これらの結果は各観測値で与えられた風が気球飛翔中ずっと吹き続けると仮定して得られたものである。後章で述べるように、また図4を参照してもわかるように、実際の飛翔中は風向風速が変化し結果はかなり平均化された風によって気球は進むものと考えられる。また、上の統計は15~5 mb また1ヶ月という大雑把なものであるから特定の高度や期間をうまく選定することにより風向分散はかなり抑えられるはずである。

以上の検討から、気球の飛翔経路および降下回収地点の南北分散については盛夏のケースがよい。しかし春または秋に近い頃でも、風の変動の傾向および飛翔時期や高度の選定法を検討することにより南北分散をずっと押えることが可能であると考えられる。

5. 風の変化の時間的水平的構造

前章で考えたことを承け、まず風の変動の正体について考えてみる。現在のところ、大気力学者の知識は真夏や真冬の地球規模の大気構造については比較的豊富であるが、春秋や局所的変動に関しては原理的なものを除いて手薄である[15][16]。上層風変動は表2のように分類することができ、このうち季節変動についてはすでに第3章に述べた通りである。またロスビー波*は夏の東風系には浸入できず、高低気圧運動(ジェット気流の蛇行)

* 地球をとりまく規模をもつので惑星波(プラネタリ波)とも呼ばれる。文献[10], [15], [16]参照。

も対流圏界面より上には伝われない[10]。したがって上層風変動のうち東支那海横断気球において重要となるのは季節変動を除けば重力波とよばれるものである。以上の事実たとえば図 8 においても明らかである。

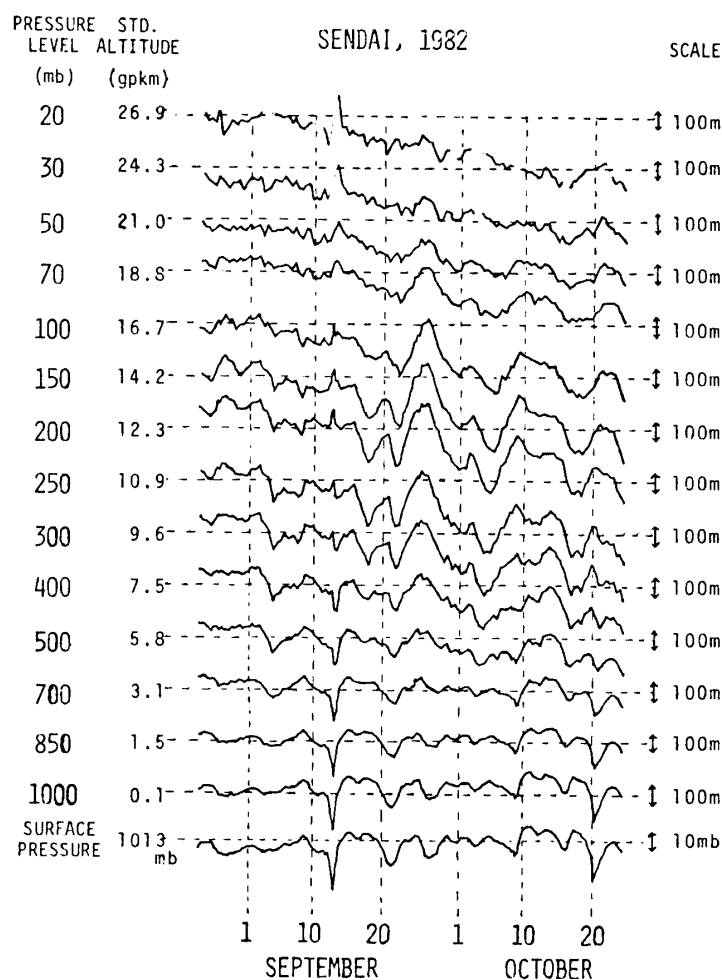


図 8 上層気圧変動の様子. 1982 年秋の
仙台の各等圧面高度の資料による。

成層圏の大循環（季節変動成分）は非常に安定であるので重力波のほとんどは対流圏において地形その他の原因で励起され上方に伝播したもの（内部波モード）と考えてよい。昼半球と夜半球の熱的不均一に由来する「大気潮汐」も内部重力波として伝播し得るが、成層圏高度での振幅は非常に小さく、この高度での重力波は長周期のものを含めてかなり小規模のものと考えてよい。この波は時計回りの楕円偏波で、周期と鉛直波長（および鉛直群速度）はほぼ反比例、周期と水平波長はほぼ比例関係にあるため、長周期のものほどひとつの高度に滞在する時間は長いことになる。このため東支那海横断気球のように長距

離飛翔をする場合には1日程度の周期, 数100ないし1000 km程度の波長でサイクロイド型の型の軌跡を描くと考えられる。このことは日本における太平洋側から日本海側への飛翔例からも容易に想像でき[4], 前章に述べた気球が元の緯度に回帰する可能性を大きく支持する。この場合長期間あるいはさまざまな高度の風の資料の分散は大きくなるが気球は決して南西や北西にずっと流され続けることはない。さらにこのような重力波は1 km程度の短い鉛直波長を持ち極端な場合は局所的に碎波して乱流化する[17]。つまりバラスト投下や開弁で高度をずらすと気球は重力波の鉛直位相差に応じて違った速度で一旦は流れ出すが, 東支那海を渡り切るまでの全航跡を眺めてみればやはり緯度線を南北に回帰していることになるはずである。

以上のことをふつうの天気図から調べるには観測点の密度などを考えてかなりむづかしい。そこで適当な気象官署の資料から簡単な相関を調べてみたのを図9と図10に示してお

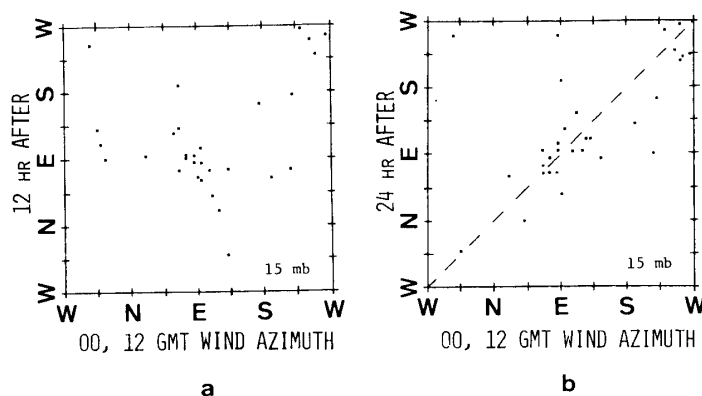


図9 上層風変動の時間的相関. 1972年5月の嘉手納の資料[9]による。

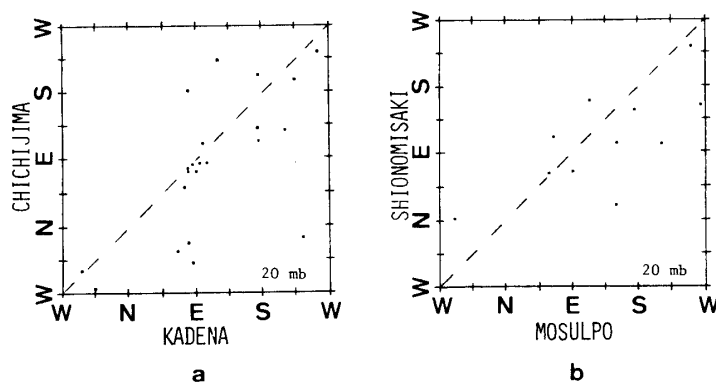


図10 上層風変動の東西相関. 1972年5月の資料[9]による。(a)27°Nに沿う相関, (b)33°Nに沿う相関。

く、弱いながらも 1 日あるいは 1000 km 程度の周期性がわかるであろう。なお先に図 8 に示した気圧変動の様子からも成層圏内の変動は 1 日程度のものが卓越していることがわかる。これらは春や秋の平均的東風が弱い時期に顕著となるから当然飛翔時間は 1 日程度にまで延び（第 3 章）ここで考えた回帰運動は十分期待できる。

6. 航跡予報と信頼度

前章で述べたことから、回帰性を念頭においた気球の航跡を試算することができる。放球の現場で随時最新の上層風資料をもとに航跡を予想することはすでに三陸で普段行なわれている通りであるが、東支那海横断気球の場合、中国側のものを含み日本南岸全域の東西数 1000 km の資料が得られれば好都合である。これらの資料から東西平均流として U 、変動周波数 ω 、および風向分散 $\langle\theta\rangle$ が与えられたとき、気球の時間 T 経過後の南北変位は

$$\Delta Y = \int_0^T U \cdot \sin \omega t \cdot \sin \langle\theta\rangle dt \simeq \frac{U}{\sqrt{2}} \int_0^T \sin \omega t dt \lesssim \frac{U}{\sqrt{2}\omega}$$

と推定できよう ($\langle\theta\rangle \simeq 45^\circ$ と仮定)。いま、 $U \simeq 10 \text{ m/sec} = 36 \text{ km/hour}$ 、 $\omega \simeq 2\pi/24 \text{ hour}$ と仮定すると

$$\Delta Y \lesssim 4U \simeq 100 \text{ km}$$

と求まる。これは第 4 章で調べた風向分散から単純に求めた南北変化よりずっと小さくなり、また U が極端に変わらなければ変位の最大値は飛翔時間 T に依存しない。このように付近の上層風資料からの予測ができることを考えれば長時間観測には適するが回収の点で危ぶまれた春や秋に近いケースの実現性はずっと高まったと言える。

以上第 3～6 章を通じ典型例について述べたので、それらの信頼性や他の場合の可能性についてさらにつつこんだ考察をする必要がある。以下ではこれらについて三つほどコメントしておきたい。

まず陵里の資料[9]から週毎に 1972 年 80 年にわたる平均を作り(図 11)、さらにそれからの偏差を求めこれらが正規分布すると仮定して「東風の確率」を計算してみる(図 12)。この結果 40°N 付近での春秋の風向逆転は平均的には 5 月 8～15 日および 9 月 15～22 日に起こることがわかる。また 9 割以上の確率で東風となるのは 5 月 22 日～9 月 8 日の間である。なおこの逆転は春には南から、秋には北から始まる(図 13)ので上の結果を東支那海横断気球(30°N)に適用するには春は数日前に秋は後ろにシフトさせなければならない。いずれにせよ東風が半分以上卓越しなかつ重力波成分が現われるような弱風、つまり長時間観測が実現する確率が高い時期は逆転日近くの約 1～2 週間に限られる。

次に年々の様子はそれぞれ違おうとしても真冬に東風がかなりしっかり現われている(図 2 参照)ことについて検討しておく。これは日本の東方海上が、大規模地形に起因するロスビー波(表 2 参照)の常に気圧の峰となるためである[10]。この波の性質上この東風は一但始まれば半月程度持続する可能性が高い。しかし東支那海は上述の気圧の峰から遠く、また赤道域の準二年周期東西風の影響もあって三陸で現われるほど顕著な東風は期待でき

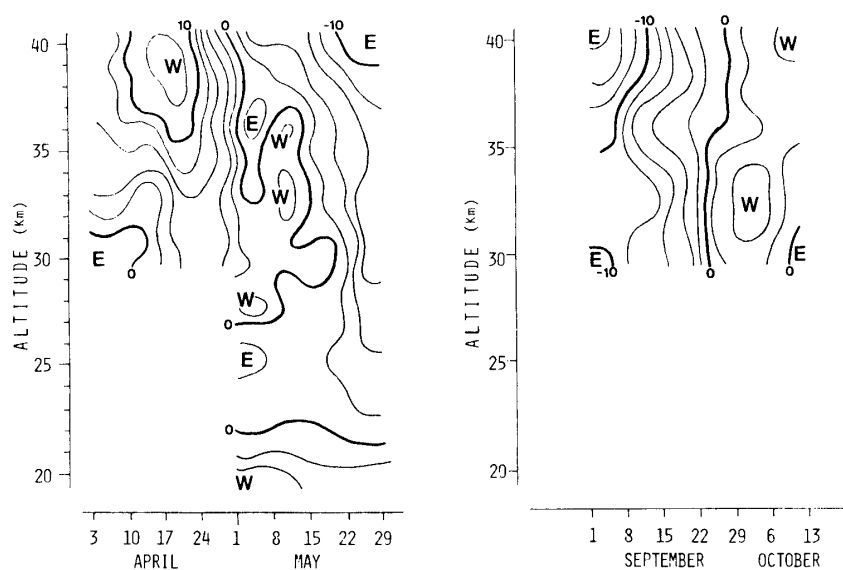


図 11 春秋の東西風逆転の平均的時間—
高度断面図. 綾里の 1970~82 年の
資料[9]による(単位: m/sec).

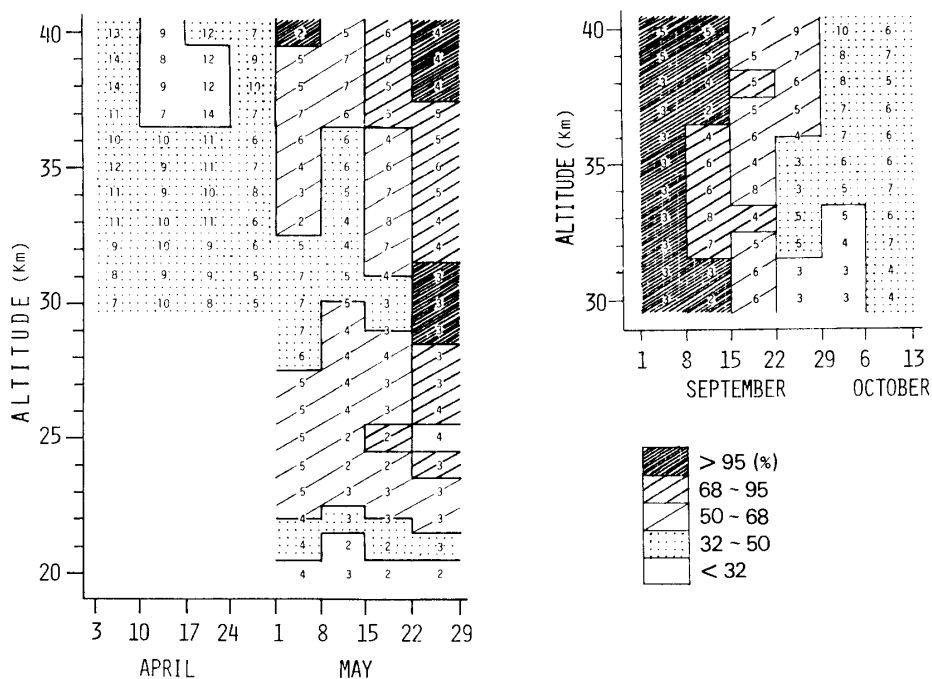


図 12 戻り風の確率. 数字は綾里の東西
風速の 1970~82 年間の分散値
(m/sec).

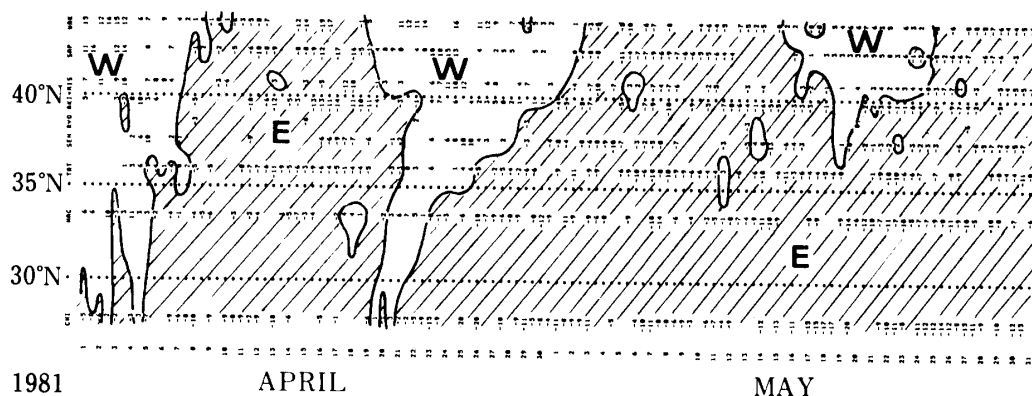


図 13 春の風向逆転の時間・緯度断面図。
1981 年について稚内・札幌・三沢・
秋田・綾里・仙台・館野・八丈島・
父島の資料[9]によって示す(30
mb 面, ほぼ 140°E 沿い)。東風域
をハッチしてある(数字は供西風
速, m/sec 単位)。

ない。さらに、この時期は放球候補の南九州を含め東支那海方面の地上の天気は中国大陸から吹く強い季節風が卓越するため大気球の放球には向かないだろう。したがってやはり東支那海横断気球は春秋の逆転期を含む夏季に限られる。

先に高低気圧運動は成層圏には現われないと述べたが、まれではあるが起こりうる可能性がある(図 14, 15)。三陸付近の緯度で約一週間の西風をもたらしたこの低気圧は冬の名残りの大陸上の低圧部周辺の偏西風の強い領域とちょうど東風フェイズにあった赤道域との間に不安定を生ずるような東西風南北分布の変曲点が生じたのではないと思われる[10]。しかしこういう低年圧の出現も 30°N 付近の東支那海では一層まれであるにちがいない。なぜならばこの緯度は赤道側が西風フェイズの年でも東西にのびる気圧の峰にかかる傾向を持ち上述の不安定の起きうる緯度より南にあるからである。

最後に上層風を鉛直方向に予想することの是非について述べる。前章の図 8 や表 2 からたとえば気象官署で作られる対流圏天気図から成層圏内の風を予想するのは無理であろうと思われる。重力波の発生源は対流圏内にあることは確実であるが、振幅が小さく空間スケールも小さいうえにさまざまな起源のものが重ね合わさるために検出が一般に不可能であり、現在まだ気象学的研究が始まったばかりと言っていい問題である。また成層圏内の春秋の風向逆転はかなりドラスティックに全中層大気にわたって起こるものであるから、これについても高度方向の予想はむづかしい(図 2 では一見上から始まるように見えるが図 11 でも明らかなようにあてにならない)。ただ成層圏中～下部では季節変動成分が小振幅であるから、重力波成分が効いて東風の出現確率は中～上部成層圏の同時期より高くなるはずであり、特に春はその冬最後の突然昇温(ロスビー波の増幅による一時的な夏

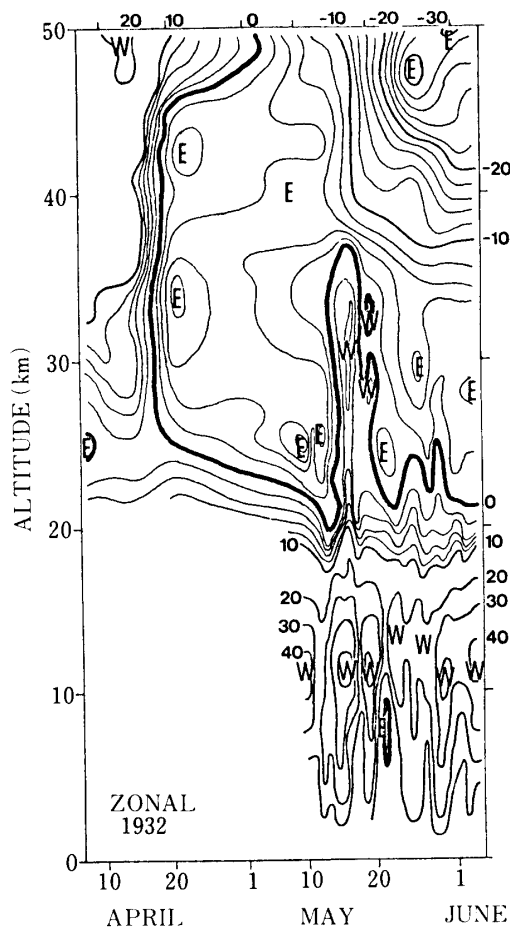


図 14 1982 年春の上層風時間高度断面。
綾里・秋田・SBC データを鉛直方向に 5 km 移動平均して重力波成分を除去し平滑化してある (単位: m/sec)。

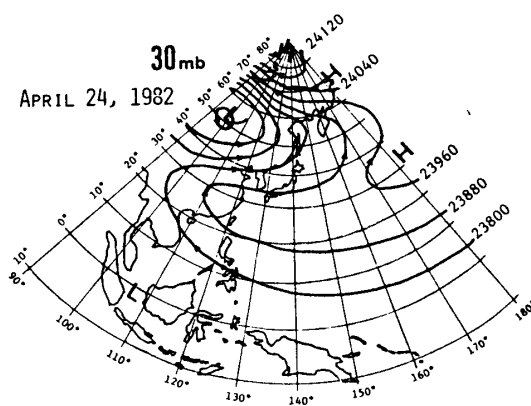
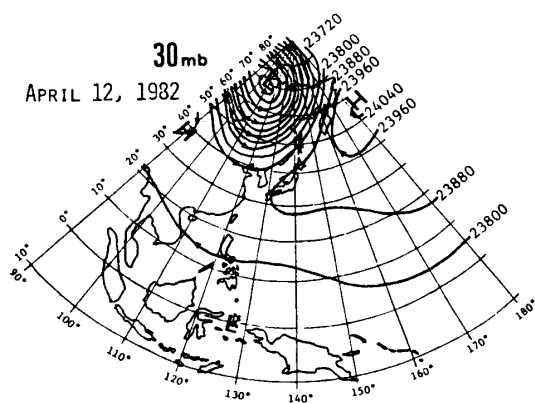


図 15 1982 年春の上層風変動. 30 mb 面
天気図[11]による (曲線は等高線, 単位は gpm, 矢印で流向を示す)。

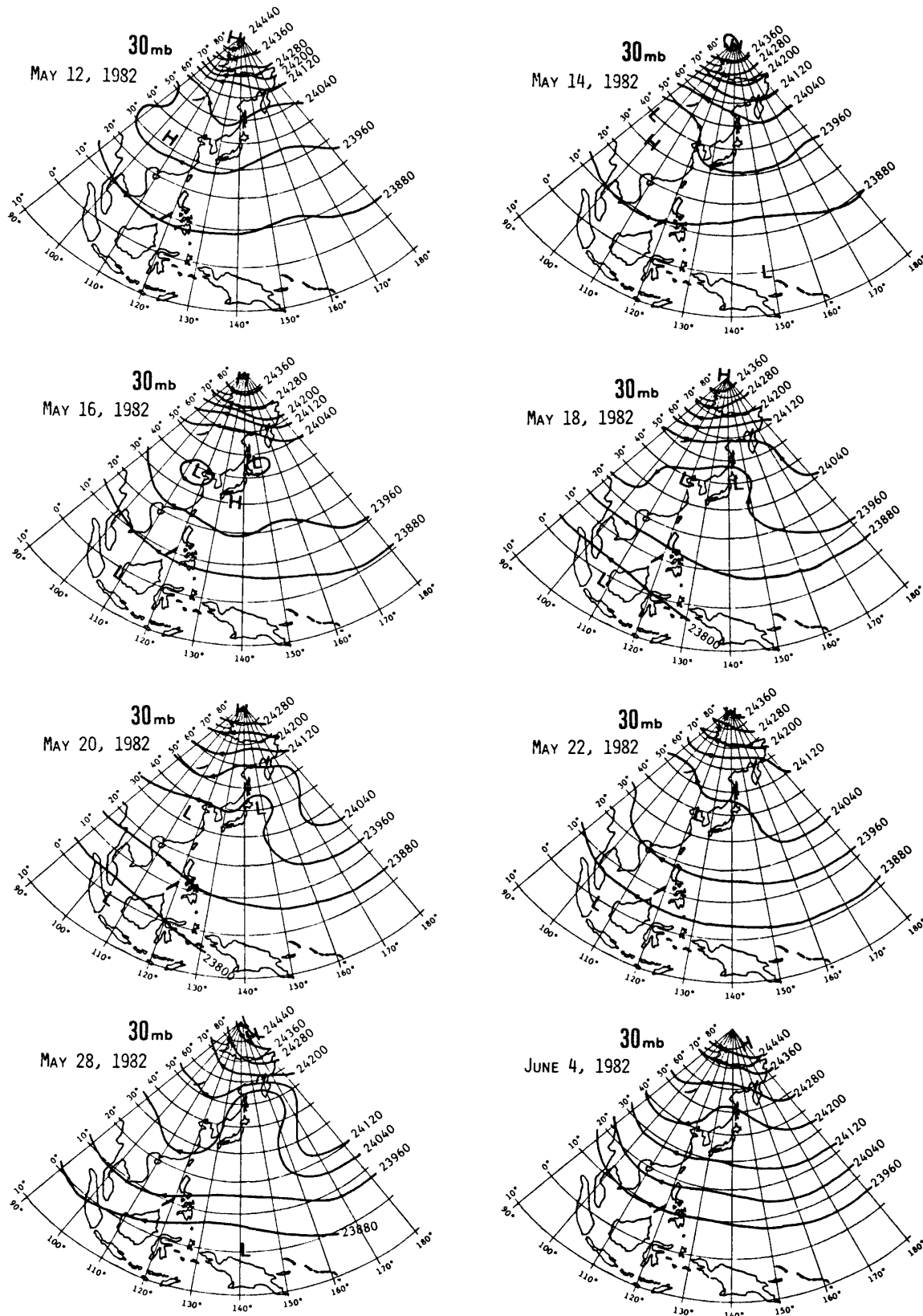


図 15 (続き).

状態)の時の東風領域が連続的に夏の風系に移行する形になりやすい。このことは春の方が東風の信頼度が高く、また秋の方は長時間弱風は得やすいが東支那海を渡り切れない可能性が高いことを意味する[10]。

表2 上層風変動の分類

名 称	周 期	水平規模	風 速 振 巾	変動原因	備 考 的 知 識
経 年 変 動	≥数年	地球?	≤数m/sec?	{ 太陽変動? 波動の効果?	{ 11年?, 4年?, 約26ヶ月?
季 節 変 動	1 年	半 球	±数10m/sec	{ 日射量 (オゾン層)	赤道反対称
ロ ス ビ ー 波	数週	(中〜)高緯度	±数〜数10m/sec	{ 大規模地形 (対流圏)	{ 冬期に顕著 西風中を上传
高低気圧運動	数日	数1000km	±数〜数10m/sec	ジェット気流 の不安定	{ 対流圏で顕著 上传しない
重 力 波	数分〜 2 日	数10〜 数100km	±数m/sec	{ 地形? ジェット不安定? (対流圏)	上 伝
乱 流	≤ 1 分	≤数100m	≤ 1 m/sec	局所的不安定	層 状 } に分布 パッチ状 }

表3 東支那海横断気球の実現性についてのまとめ*

実 施 時 期 放 球 場 所	初夏(5月)	盛夏(6, 7, 8月)		晩夏・初秋(9, 10月)
	KSC	KSC	鳥島	KSC
東風速(m/sec)**	5-15	20-35		5-15
観測時間(hr)	19-55	8-14	16-28	19-55
風向変動(°)**	±15	±7		±10-15
気球南北変位(km)***	±170	±80	±170	±170
観測時間の適当性	○	×	△	○
放球・追尾の実現性	○	○	×	○
降下・回収の安全性	△	○	△	△
予備的飛翔の妥当性	×	○	×	×
科学観測飛翔の実現性	○	×	○	○

* 既発表[8]のものに手を加えたもの。中国側の情報[14]も参考にした。

** 数値は1標準偏差内、したがって7割程度の信頼性がある。

*** 波動に伴う回帰性の寄与を考え、風向変動からの推定値の7割をとった。

7. 放球と追尾まで考えた実現性

本稿は東支那海横断気球の実現性を気象学的に論じるのが主旨であるが、以上の考察をふまえた上で放球や追尾に関する現時点での見通しをまとめておくことは有益であろう。第3章で指摘された二つの案について以下に検討してみる。放球のためには設備や人員を臨時的にでも移動できる便がなくてはならないし、もちろん地上風の傾向を含めた入念な調査が必要となる。また追尾については日本および中国における受信体制を考えて約 500 km を追尾範囲としてよからう。

まず案の(i)の南九州での放球については、すでに第2章に述べたように鹿児島宇宙空間観測所(KSC)が放球・受信基地をして想定できる。ここは放球用器材の搬入は必要であるにせよ一般的な設備は十分であり、また鹿児島および上海から 500 km の距離を地図上で描けばちょうど東支那海中央で交叉する形となり追尾にも好都合と考えられる(図1参照)。ただし細かく考えると KSC は南九州の東岸にあるため、受信点は鹿児島市西方の山上に設けるのが望ましい。

一方、案の(ii)の小笠原について 30°N 線に最寄の鳥島を考えてみる。この場合科学観測の経験のある設備がなく、交通の便も悪い孤島であるため準備には時間経費ともかなり必要となるだろう。さらに鳥島から放球する場合は KSC、またさらに鹿児島市西麓の二ヶ所で追尾をリレーしてやることも必要となる。

以上のことから放球や追尾の点まで考えると東支那海横断気球は KSC 放球案が現時点ではまず唯一の解と言えよう。第3章の考察では科学観測として意義のある長時間飛翔のためには5月または9月、さらに第4～6章を踏まえると春の逆転直後の約1～2週間が最適、次いで秋の逆転直前の約1～2週間が次適となる。しかし現実問題として夏の風系が安定する6月あるいは8月に行なうことは最初の実験として安全と言えるであろう。つまりこれによってまず気球工学的基盤をしっかりと確認した上で科学的に本格的な実験に移るという考え方である。第5～6章でくわしく吟味したように春や秋に近い頃でも第4章で述べたほどは南北分散が起こらないことを繰り返し念頭に置きたい。また鳥島放球案は当面の実行案からはずすにせよ、将来における意味のある計画として今後検討を深めてゆくべきであろう。

8. お わ り に

東支那海横断気球の実現性は、本論文で考えた限りにおいて十分高いものであると言える。前章までの考察を表3にまとめておいた。前章の末尾に述べた結論を繰返せば最初の実験を6月か8月か8月、次いで本格的には5月の逆転直後の1～2週間に KSC から放球するのが妥当だということになる。前者では予想される観測時間は正味10時間程度、後者では2日程度以上の長時間観測がほぼ確実である。中国側の期待も高いのでごく近い将来に実行に移すべきであると考えている。また本論文での検討を通じて明らかのように大気球を飛翔させること自体でも成層圏大気の動態を確めるという大気力学的意義のあることを付記しておきたい。

謝 辞

王傳善（空間科学技術中心）、周秀驥（大気物理研究所）、霍安祥（高能物理研究所）、叶叔華（上海天文台）の各先生はじめ中国側スタッフの御協力に対し厚く御礼申し上げる。なお本論文に使用した上層風資料については気象庁高層課および各気象官署の方々に直接間接にお世話になった。

参 考 文 献

- [1] Malavasi, M., J. Casas and A. Soubrier, 1979: First experimental transmediterranean balloon flights. (In French), In *Scientific Ballooning* (ed. by W. Riedler), Pergamon Press, 119-122.
- [2] Shipley, A., 1978: Transatlantic balloon flights. Presented at *the Symposium on the Scientific Use of Balloons and Related Technical Problems, XXIst COSPAR Meeting at Innsbruck*.
- [3] Soubrier, A., M. Malavasi and J. Pueyo, 1981: Transmediterranean flights. *Adv. Space Res.*, 1(1), 261-264.
- [4] 西村 純・広沢春任・太田茂雄・秋山弘光・藤井正美・山上隆正・狛 豊・岡部選司・並木道義・松坂幸彦・高成定好, 1983: 新ブーメラン気球. 宇宙研報告, 特集 8, 3-14.
- [5] Hirose, H., S. Ohta and H. Akiyama, 1982: Development of relay balloon system. *Proc. ISTS.*, 13, 1201-1205.
- [6] Fujii, M., J. Nishimura and H. Hirose, 1982: Meteorological feasibility of transpacific balloons and related problems. *Proc. ISTS*, 13, 1221-1225.
- [7] 西村 純・秋山弘光, 1982: 中国の気球について. 大気球シンポジウム報告書, 331-337.
- [8] Nishimura, J., H. Akiyama and M. D. Yamanaka, 1982: Feasibility studies on transoceanic flights from Japan. *Proc. ISTS*, 13, 1227-1232.
- [9] 気象庁: *Aerological Data of Japan*, 1967-1982.
- [10] 山中大学, 1982: 三陸の上層風変動について——気球工学と大気力学の接点. 大気球シンポジウム報告書, 55-71, 49-65.
- [11] Institut für Meteorologie, der Freien Universität Berlin: *Berliner Wetterkarte*, 1981~1982.
- [12] NASA, 1978: Synoptic analyses, 5-, 2-, 1-, and 0.4-millibar surfaces for July 1976 through June 1977. *NASA-RP-1032*, 222pp.
- [13] 秋山弘光・狛 豊・岡部選司・西村 純, 1982: インドネシア気球基地について. 大気球シンポジウム報告書, 247-253.
- [14] 王傳善, 1983: (Private communication).
- [15] 松野太郎, 1979: トランス・パシフィック気球と成層圏気象. 大気球シンポジウム報告書, 209-215.
- [16] 松野太郎・島崎達夫, 1981: 「成層圏と中間圏の大気」. 東大出版会, 279 pp.
- [17] 山中大学・田中 浩, 1983: 成層圏乱流層の成因に関する理論的研究. MAP シンポジウム報告書, 3, 141-156.