

ISSN 0452-2982

UDC 629.735.077.018.7:

629.735.058.77.086

# 航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-453

## ビンテン・カメラによるYS11の着陸追跡実験

古茂田 真 幸 ・ 小 野 孝 次

宮 沢 与 和 ・ 塚 野 雄 吉

1981 年 12 月

航空宇宙技術研究所

NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

# ビンテン・カメラによるYS11の着陸追跡実験\*

古茂田 真 幸\*\*

小 野 孝 次\*\*

宮 沢 与 和\*\*

塚 野 雄 吉\*\*

## まえがき

YS11 型機の着陸をビンテン・カメラで追跡することにより、搭載されているFDR<sup>註1)</sup>(フライト・データ・レコーダ)の精度を検討することを目的として行なった飛行実験の結果を報告する。

この実験は、“アプローチ終段から接地を経て減速滑走、停止に到る速度範囲において、FDR に記録されたデータからどれだけ正しく滑走距離が推定できるか”を検討することを最終目的として計画された。滑走距離は接地後の対地速度を積分することによって求められるから、上記の目的は“どれだけ正しく対地速度が推定できるか”という問題と等価である。FDR は対気速度しか記録しないから、対地速度を正しく推定することは“真対気速度と地上風との双方が正しく推定もしくは計測されていること”を要求することと等しい。更にFDR は指示対気速度しか記録しないから、結局のところ問題は“器差、位置誤差<sup>註2)</sup>に対する速度修正量、並びに地上風、の三者がいかに正しく検定、推定あるいは計測されうるか”ということに帰着される。

実験は運輸省航空事故調査委員会が計画し、航空

宇宙技術研究所及び全日本空輸株式会社の協力の下に実施したものである。航技研はビンテン・カメラの操作及び本報告に述べるデータ処理・解析を担当した。

## 1. 記 号

$l$ (m)	ビンテン・カメラからアビーム点迄の距離
$E(\cdot)$	$\cdot$ の期待値
$P$ (kg/m <sup>2</sup> )	総圧
$p$ (kg/m <sup>2</sup> )	真の静圧
$p_m$ (kg/m <sup>2</sup> )	静圧系で計測された静圧
TIAS (m/s)	指示対気速度に密度修正のみを行なった速度 (3.3 項の(2)参照)
$t$ (sec)	時刻
$U_C$ (m/s)	較正対気速度 (CAS)
$U_E$ (m/s)	(5)式
$U_G$ (m/s)	真の対地速度
$U_I$ (m/s)	指示対気速度 (IAS)
$U_P$ (m/s)	位置誤差に対する指示速度修正量
$U_T$ (m/s)	真対気速度 (TAS)
$U_W$ (m/s)	向かい風成分

註1) 本 FDR (飛行記録装置) はユナイテッド・データコントロール社製 FA-542 型で、記録箔に打刻してデータを記録する装置である。

註2) 機体まわりの気流は飛行姿勢や飛行形態等によって影響を受ける。従ってピトー及び静圧系には誤差が生じ、真の自由気流中の速度、高度を測定出来ない。特に静圧孔の取付位置の影響が大きい事が知られている。これを位置誤差という。<sup>1)</sup>

\* 昭和56年11月9日 受付

\*\* 飛行実験部

$U_{W0}$ (m/s)	固定点で計測された向かい風成分
$v$ (m/s)	ビンテン距離に含まれる読み取り誤差
$w_1$ (m/s)	対気速度に含まれる読み取り誤差
$w_2$ (m/s <sup>2</sup> )	(7b) 式
$x$ (m)	アビーム点を原点とした距離
$x_{GR}$ (m)	滑走距離
$y$ (m/s)	(8) 式
$z$ (m)	アビーム点の標高を原点とした高度
$\Delta C_p$	圧力係数, (1) 式
$\Delta P$ (kg/m <sup>2</sup> )	静圧誤差 ( $\Delta P = p_m - p$ )
$\Delta U_{TP}$ (m/s)	(12) 式
$\Delta x_{GR}$ (m)	(14) 式
$\Delta z$ (m)	高度誤差 ( $\Delta z = z_m - z_v$ )
$\rho$ (kg s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup> )	空気密度
$\phi_0, \theta_0$ (deg)	ビンテンカメラ回転軸の傾斜角
$\omega_E$ (rad/s)	折点周波数, (7b) 式

## 下添字

$m$	静圧系データに基づく計測値
$T$	密度補正 $\sqrt{\rho_0/\rho}$ を施した値
$v$	ビンテン・データ

## その他

・*	・の推定値
△	・のフィルタ推定値
～	・のスムーザ推定値

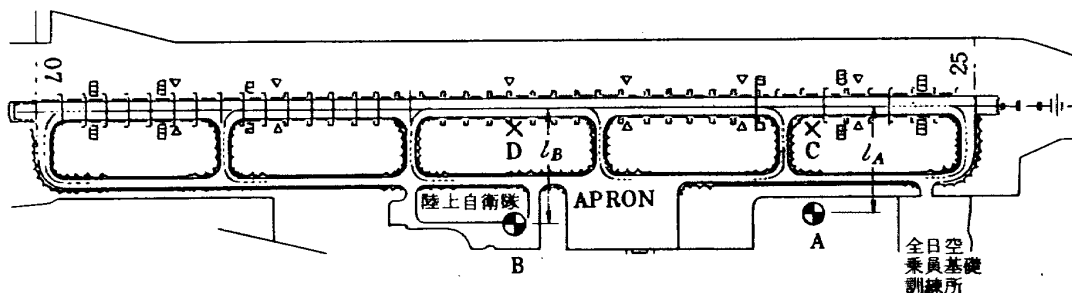
## 2. 実験の概要

飛行実験は全日空の訓練機 (YS 11 型, JA 8705) を用い, 昭和 54 年 3 月 6 日, 熊本空港ランウェイ 25 において行なわれた。計 6 回の着陸実験のうち, フライト・ケース 1-1, 2-1, 3-1 においては完全に停止することなく次の離陸に移行し, フライト・ケース 1-2, 2-2, 3-2 においては完全に停止した。

図 1 には滑走路の平面図にビンテン・カメラ及び地上風向・風速計の設置場所を記入して示してある。また図 2 には滑走路中心線に沿う海拔高度の変化を示す。

事故調査委員会から提供された生データは以下の通りである。

- (1) ビンテン・カメラのデータ：フィルム各コマ毎の時刻, カメラ方位角, フィルム視野内での上下・左右座標の読み取り値
- (2) 計器のフォト・データ：計器盤を連続撮影したフィルムから読み取った時刻, 気圧高度, 対気速度及び電波高度計指示高度<sup>註)</sup>
- (3) FDR のデータ：FDR から読み取った時刻, 気圧高度, 対気速度
- (4) 風のデータ：接地点付近の滑走路わき (図 1 参照) において自記記録された風向・風速の読み取り値 (表 1 にフライトケース 1-1 の例を



A 点：	フライト・ケース 1, 2 の VINTEN CAMERA 設置位置 (STA. 30.77, ELV. 192.176m)
B 点：	" 3 " (STA. 22.53, ELV. 192.782m)
$l_A$ = 280.04m :	A 点と滑走路中心間距離
$l_B$ = 305.04m :	B 点 " "
C 点：	フライト・ケース 1, 2 の風向風速計位置
D 点：	" 3 "

STA : ステーション

ELV : 標高

図 1 ビンテン・カメラ位置及び風向風速計位置

註) 以下の検討においては電波高度計のデータは参考に止め, 解析には使用しなかった。

表1 地上で計測された風向・風速

(フライト・ケース1-1の例)

TIME (sec)	WIND SPEED (m/sec)	WIND DIRECT. (deg)
66.00	1.79	232
67.00	1.71	226
68.00	1.65	226
69.00	1.60	226
70.00	1.55	226
71.00	1.50	226
72.00	1.45	226
73.00	1.40	226
74.00	1.30	226
75.00	1.27	235
76.00	1.23	254
77.00	1.21	270
78.00	1.23	272
79.00	1.25	270
80.00	1.24	250
81.00	1.24	235
82.00	1.24	231
83.00	1.22	231
84.00	1.20	245
85.00	1.20	257
86.00	1.18	259
87.00	1.14	258
88.00	1.11	253
89.00	1.09	250
90.00	1.05	250
91.00	1.00	250
92.00	.98	250
93.00	.91	248
94.00	.89	247
95.00	.83	247
96.00	.80	247
97.00	.75	247
98.00	.69	253
99.00	.64	258
100.00	.60	259
101.00	.60	259
102.00	.59	250
103.00	.58	241
104.00	.56	236
105.00	.55	237
106.00	.53	259

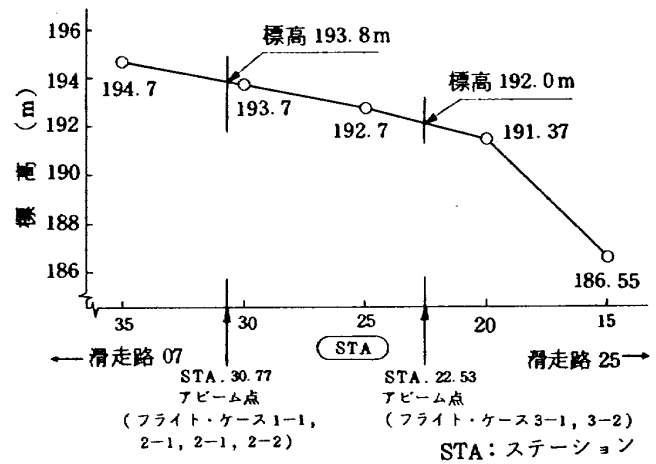


図2 滑走路中心線の標高

表2 QNH補正值

フライト・ケース	補正值(読み取り値に加える)
1-1	30.5 m (100.0 ft)
1-2	30.5 (100.0)
2-1	27.7 (90.8)
2-2	24.9 (81.6)
3-1	22.1 (72.4)
3-2	22.1 (72.4)

示す。)

(5) 高度規正用QNH<sup>註)</sup>補正值:各フライト・ケース毎のQNH補正高度(表2に示す。)

(6) 器差の較正值:FDRの飛行実験前後における較正值(付録1に示す。)

### 3. データの前処理

与えられた生データに対し、以下のような前処理を行なった。結果は附表1及び附表2に示す通りである。(データ数が多いので代表例としてフライトケース1-1のみを示す。)以下では特に断わらない限り、単位はすべてm, m/s, sec, degで表わしてある。

註) 気圧高度計には標準大気圧に基づいた高度目盛が施されている。通常、大気圧は標準状態とは異なるので正しい海面高度(標高)を知るためには、滑走路面における、その時刻の大気圧を用いて気圧高度計の零点を補正する必要がある。この補正をQNH補正という。

3.1 データ読み取り時刻の照合とデータの内挿  
ビンテン、フォト、FDR の各データは、偶然に一致した場合を除き一般には同一時刻に読み取られていない。以下の記述では各フライト・ケース毎に表3に示した標準時刻を各種データの時間軸の共通の原点に選んである。

表3 標準時刻及びビンテン・カメラ傾斜角

フライト・ケース	標準時刻	ビンテン・カメラ傾斜角	
		$\phi_0$ (deg)	$\theta_0$ (deg)
1-1	12時50分00秒	0.115	0.0
1-2	12時58分00秒	0.115	0.0
2-1	13時19分00秒	0.344	0.348
2-2	13時26分00秒	0.344	0.266
3-1	14時53分00秒	0.037	0.0
3-2	15時02分00秒	0.037	0.0

ビンテン・データとフォト・データとの同期はそれぞれのデータ読み取りに用いられた時計を共通の標準時計と照合することにより行なわれた。地上の風向・風速データ(表1)についても同様である。

フォト・データとFDR データとの同期は接地時の衝撃時刻を両データ間で照合することにより行なわれた。附表1の(1), (5)列及び附表2の(1), (3)列はこのようにして統一された時間軸で各データが読み取られた時刻を表わしている。

後述するように、フィルタ・スモージ処理のためにビンテン・データと同時刻におけるフォト・データによる対気速度データが必要となる。そのため線型内挿によって必要なデータを補間した。附表1(7)列中のうちビンテン・データと時刻を共有するものが補間されたデータである。

同様に位置誤差修正を行なうため、FDR 対気速度の読み取り時刻におけるFDR の高度が必要となるのでやはり線型補間を行なった。(附表2の(4)列)。

### 3.2 ビンテン・データ

- (1) 重心位置への変換：生データの座標読み取りは胴体基準線とウェザ・レーダ・ドーム後縁との交点について行なわれた。表3以下の記述では機体位置は仮想重心点(平均空力翼弦25%、

車輪下端より2.3 m上方と仮定)に変換してある。

- (2) 高度及び距離：進行方向距離 $x_V$ と高度 $z_V$ とはそれぞれ水平、鉛直方向に選び、ビンテン・カメラのアビーム点における滑走路中心を $x_V$ ,  $z_V$ の原点として表わす。もちろん重心点は滑走路中心線を含む鉛直面内を運動するものと仮定している。
- (3) カメラ据付誤差に対する補正：ビンテン・カメラ回転軸は鉛直方向に据え付けたにも拘らず、僅かに傾斜していることを覚悟しなければならない。この傾斜によって生ずる誤差を修正するため、各フライトの後半部において機体重心点は図2に示す滑走路表面の上方2.3 mの軌跡を画くものと仮定した。この仮定をみたすようにカメラ回転軸の傾き角 $\phi_0$ (左, 右)及び $\theta_0$ (前, 後)を推定して表3中に付記してある。表4のビンテン・データはもちろん $\phi_0$ ,  $\theta_0$ の影響を修正したものである。
- (4) カメラ倍率：カメラ倍率の較正のため、各フライト毎に測量用メジヤを撮影したが映像が不鮮明のため使用できなかった。各フライト毎にアビーム付近での映像から機体全長(26.3 m)を用いて解析機上での読み取り目盛と実長との倍率(フライト・ケース1及び2では0.328 m/目盛, フライト・ケース3では0.357 m/目盛)を定めた。

### 3.3 フォト・データ

- (1) 気圧高度：すでにQNH 補正された高度計の読みに対してカメラのアビーム点の海拔高度を差し引き附表1(6)列に示す。ほぼ重心点の気圧高度を代表するものとみてよい。
- (2) 対気速度：読み取られた指示速度を $\sqrt{\rho_0/\rho} = 1.010$ (標準大気, 気圧高度200 m)で修正し, 附表1(7)列に示す。器差修正及び位置誤差修正を行わず, 密度修正のみ行なったので以後TIASと略記する。

### 3.4 FDRデータ

- (1) 気圧高度：29.92 inHg に調整された気圧高度の読みに対し, 表2のQNH 補正を行ない, アビーム点の海拔高度を差し引いたものを附表2

(4) 列に示す。FDR 装着位置から考えて、やはり重心位置の高度に対応するものとみなすことができる。

(2) 対気速度：フォト・データの場合と同じく、密度修正のみを施したTIASを附表2(2)列に示す。なお器差の検定結果を付録1に示す。

### 3.5 前処理されたデータについての考察

表4、表5に含まれる前処理データを各フライト・ケース毎に図3及び図4に示してある。但し図のビンテン及びフォト・データは1つおきに間引いたデータを示した。

(1) 飛行軌跡：図3には各ケース毎にビンテン・データによる飛行軌跡を示す。各データ点はほぼ0.5 sec毎の重心位置を示す。データ読み取りに含まれる誤差の概略値が推察できる。

(2) TIASの時間履歴：図4(a)には各ケース毎にフォト及びFDRによるTIASの時間履歴を比較して示してある。両者は40m/s以上の速度領域では一般に矛盾のない対気速度を与えていると判断してよい。

(3) 高度の時間履歴：図4(b)には各ケース毎にビンテン高度とフォト及びFDRデータによる気圧高度の変化を比較してある。6ケースを通じて以下の現象が観察できる。

(i) 地面効果外においてフォト及びFDRデータによる高度はビンテン高度と比較して15~25m程度低い高度を記録している。これは、(i)ビンテン高度の誤差(主として $\phi_0$ ,  $\theta_0$ の推定誤差による)、(ii)計器盤計器及びFDRに含まれる静圧系位置誤差、(iii)QNH補正値の不確かさ、に起因するものと推察される。

(ii) やはり地面効果外において、フォト・データに比べてFDRデータの方が5~15m程度高い高度を与えている。これは上記(ii)、(iii)の他に(iv)フォト・データに含まれるパララックス誤差、によるものと考えられる。

(iii) 地面効果内においてフォト及びFDRデータは共に地面下に潜り込んで行くような指示高度を記録している。これは上記(ii)の位置誤差によるものであるが、特に、(v)位置誤差が地面効果によって増幅されていること、によると考え

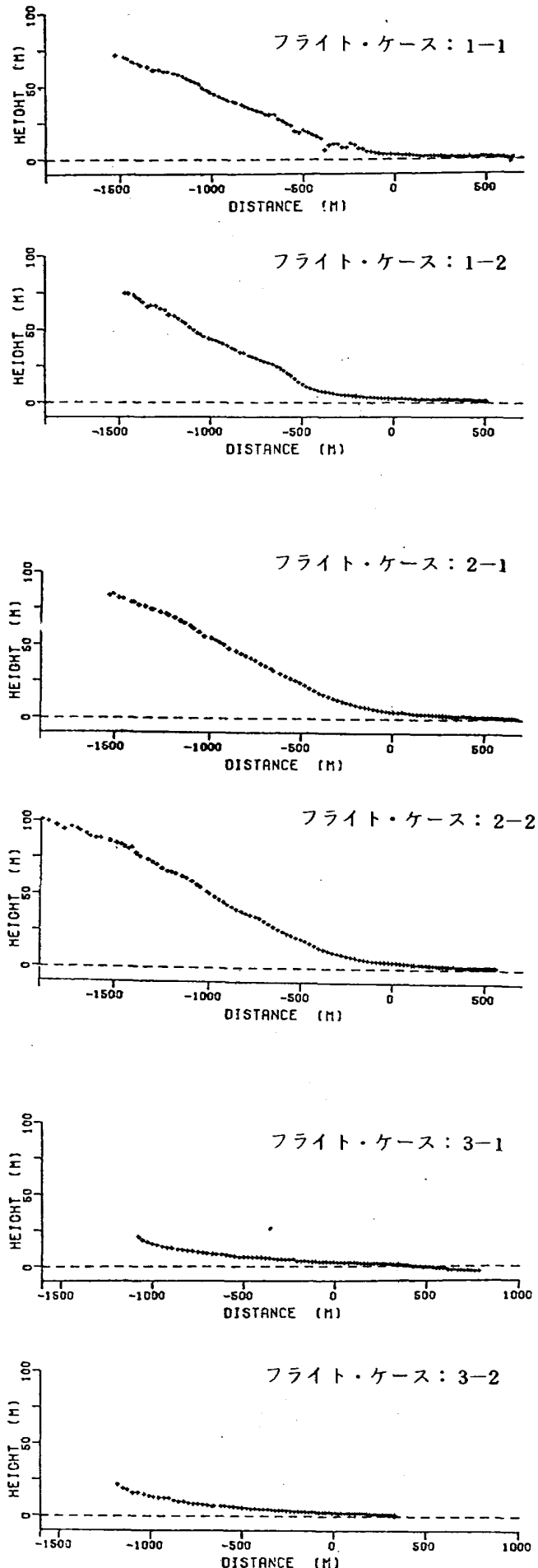


図3 飛行軌跡(ビンテン・データ)

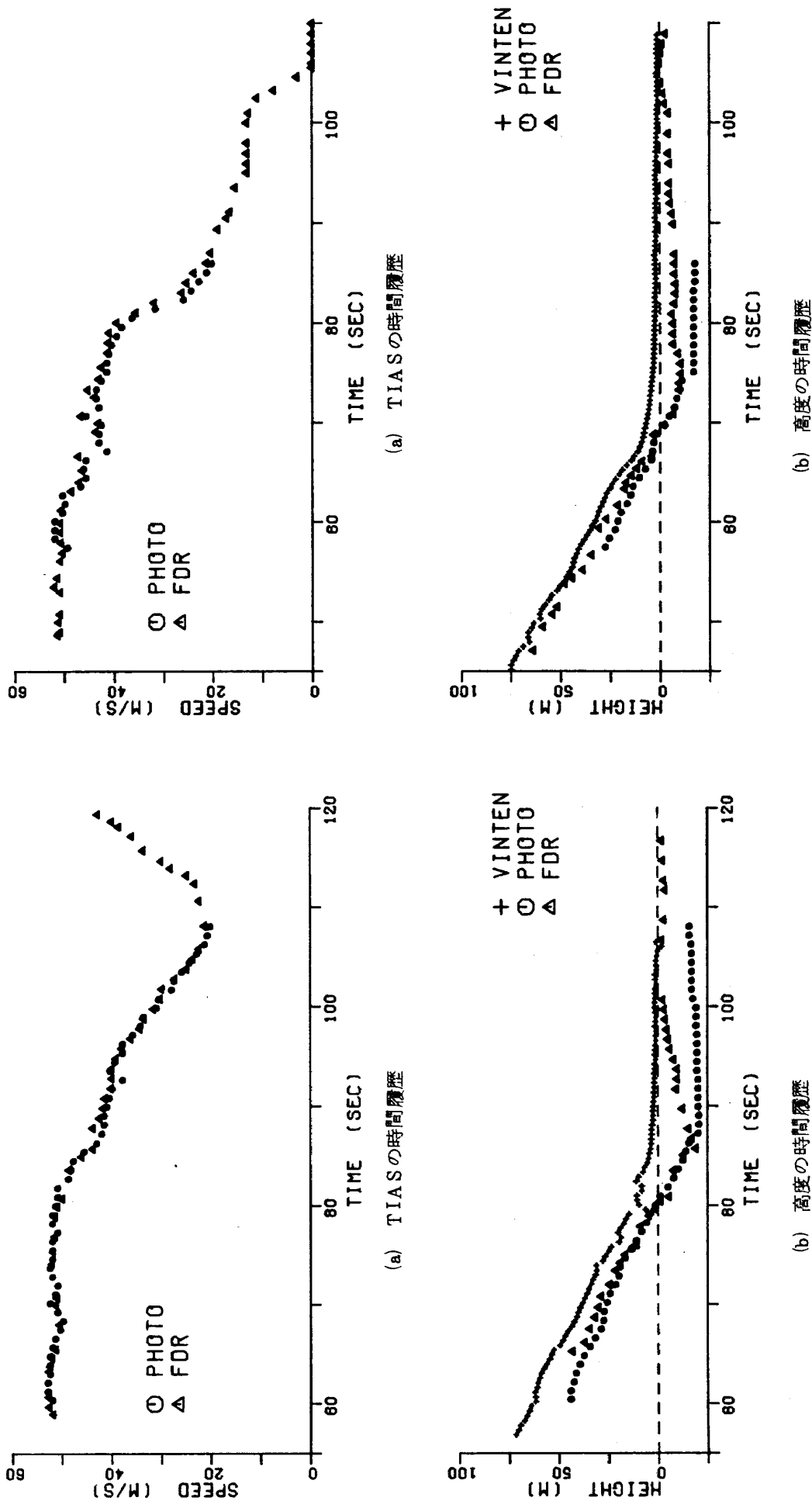


図 4 前処理データ (つづく)

フライト・ケース: 1-2

フライト・ケース: 1-1

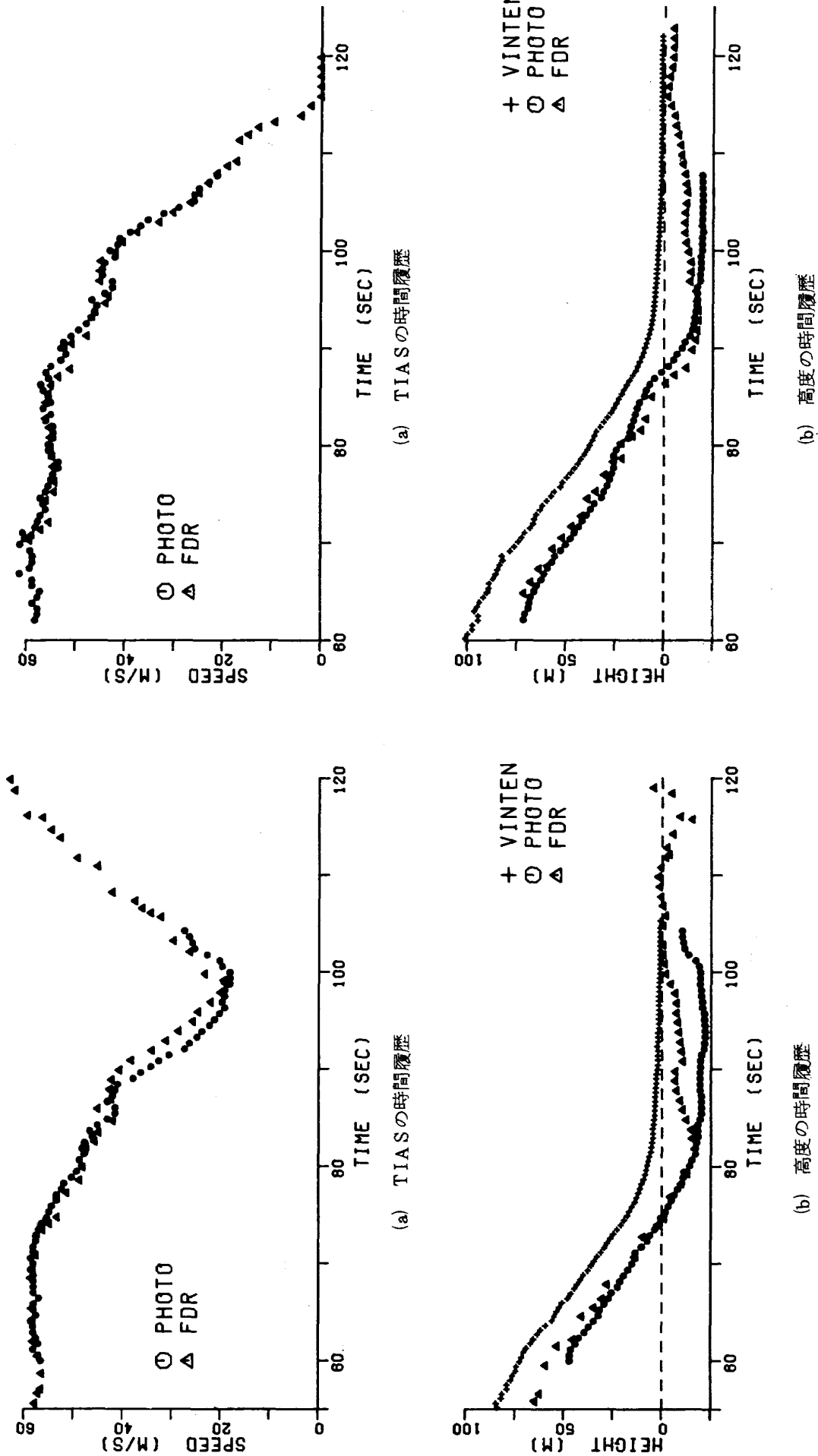
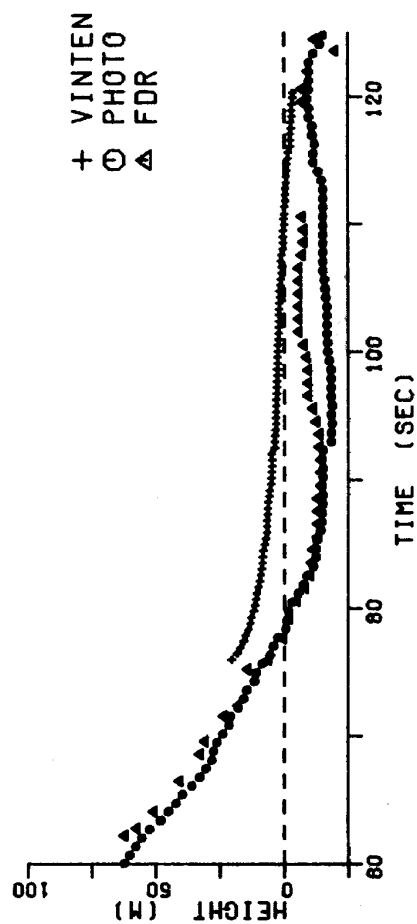
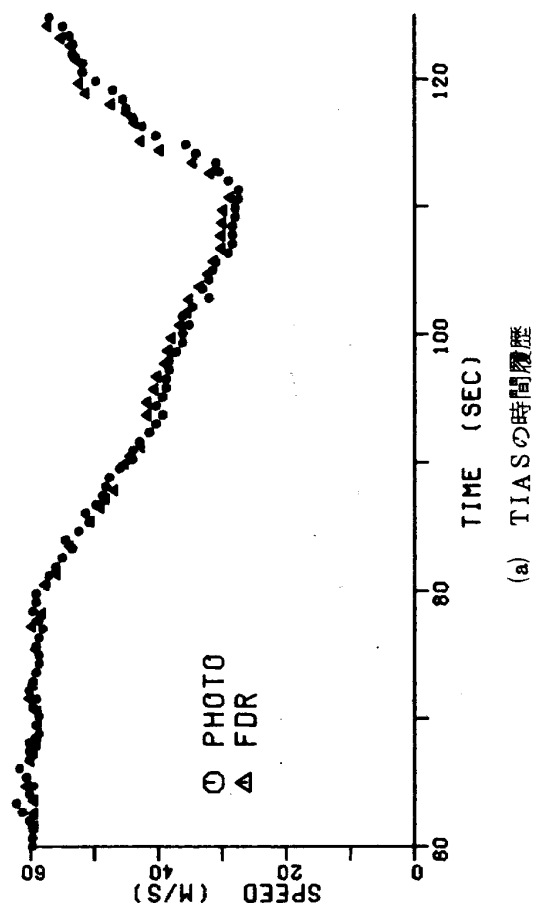
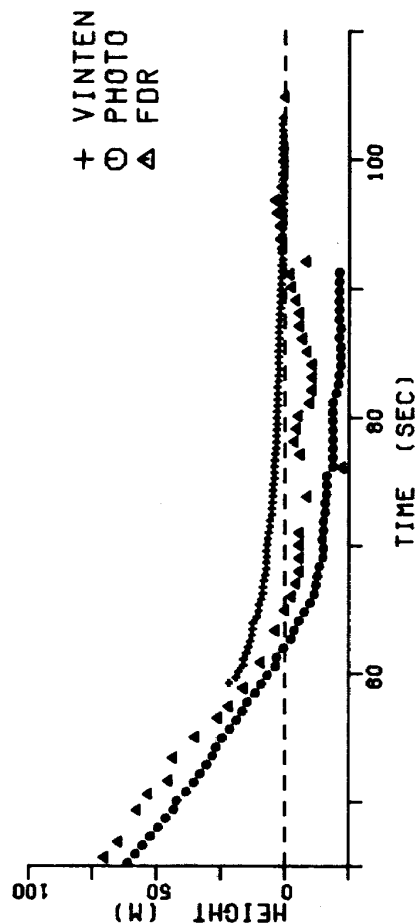
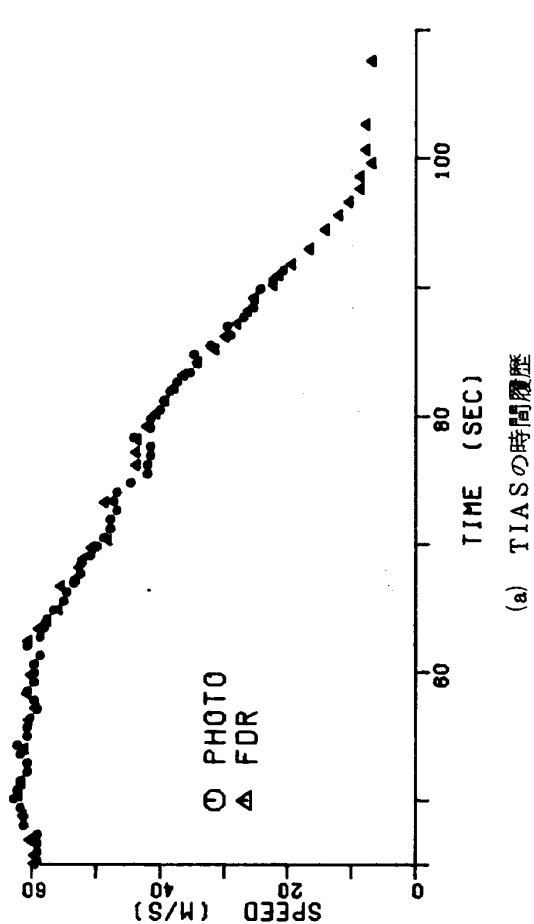


図4 前処理データ (つづき)

フライト・ケース: 2-2

フライト・ケース: 2-1





フライト・ケース：3-2

図 4 前処理データ（おわり）

フライト・ケース：3-1

られる。なお、FDR データにおいては対気速度が零に近づくにつれて上記の潜り込み分は正常値に回復する傾向にあるが、フォト・データにおいては回復しない。この原因は、指示計に摩擦が大きいのか、あるいは FDR 系統に比べて静圧系の動特性が遅いのか、等の理由が考えられるが推測の域を出ない。

- (4) 高度誤差についての検討：気圧高度の誤差原因は前述のものが考えられるが、いずれにせよ静圧系の誤差は指示高度の誤差のみならず指示対気速度の誤差となっても現われる。静圧誤差の現われ方の中から先ず動圧の影響を取り除いて見るために、図5には圧力係数

$$\Delta C_p \triangleq \Delta p / \left( \frac{1}{2} \rho U_T^2 \right) \quad (1)$$

をビンテン高度  $z_v$  に対してプロットして示す。ここで静圧誤差  $\Delta p \triangleq p_m - p$  ( $p$  は真の静圧,  $p_m$  は静圧系で計測された圧力,  $\text{kg/m}^2$ ) は高度誤差  $\Delta z \triangleq z_m - z_v$  ( $z_v$  はビンテン高度,

$z_m$  は FDR から読み取られた高度)<sup>註)</sup> から標準大気を仮定して推定した。気圧高度 200 m 付近ではほぼ

$$\Delta p = -1.22 \Delta z \quad (2)$$

程度である。また(1)式中の真対気速度  $U_T$  には後述(4.1節(4)項)するような方法で求めた真対気速度の推定値,  $U_T^*$  を用いた。図5にはビンテン・データによる機体姿勢角  $\theta$  をも併記してある。図5から判るように、各ケース共に  $z_v < 12\text{m}$  程度で  $\Delta C_p$  が急激な変化を示し、 $z_v \div 5\text{m}$  (車輪高度 2.7 m) で最大値に達している。圧力係数に見られるこの変化は、引き起こしによる姿勢角の(従って迎角の)変化が地面効果やパワ変化と複合して惹き起こしたものと考えられる。これに反して  $z_v > 12\text{m}$  では各ケース共に  $\Delta C_p$  はほぼ一定と見なすことができる。表4には各ケース毎の平均を示す。6 ケース全体としては

$$(\Delta C_p)_{OGE} = 0.072 \pm 0.027 \quad (3)$$

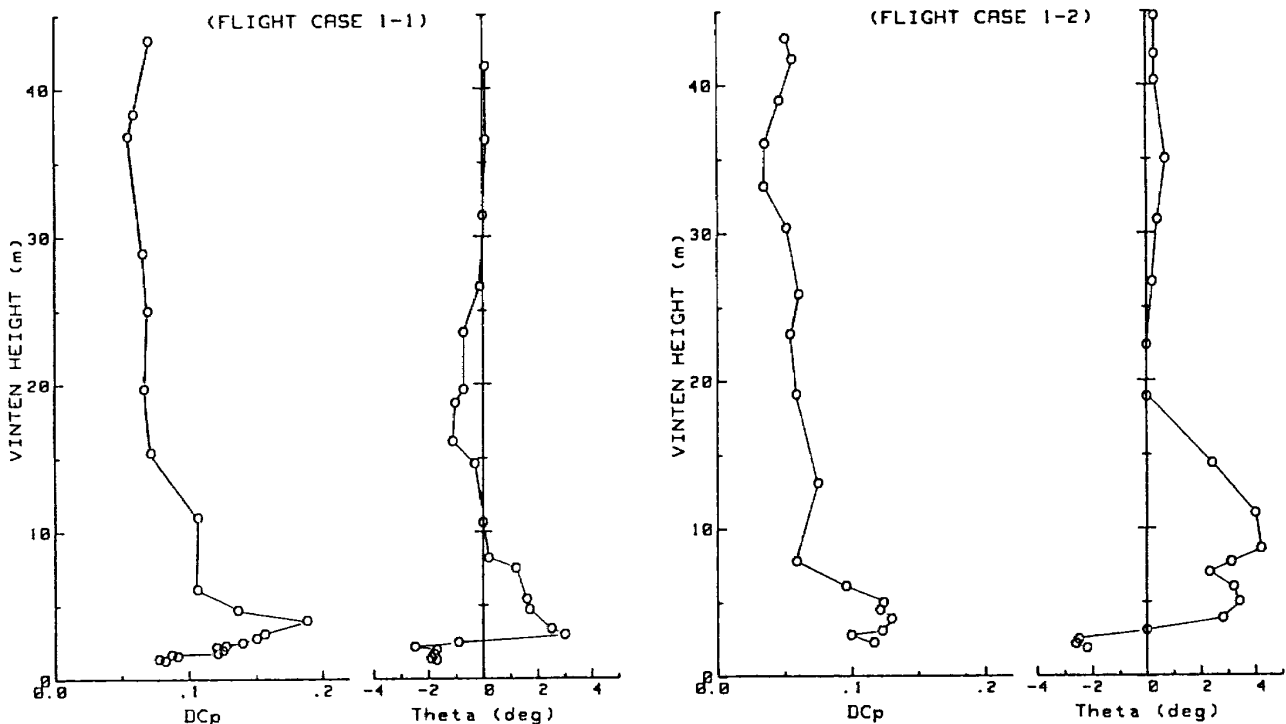


図5 圧力係数でみた静圧誤差 ( $\Delta C_p = \Delta p / (\frac{1}{2} \rho U_T^2)$ ) と姿勢角変化(つづく)

註) 地上滑走中のみに限定すれば、ビンテン高度の代りに滑走路面の標高を利用することができる。

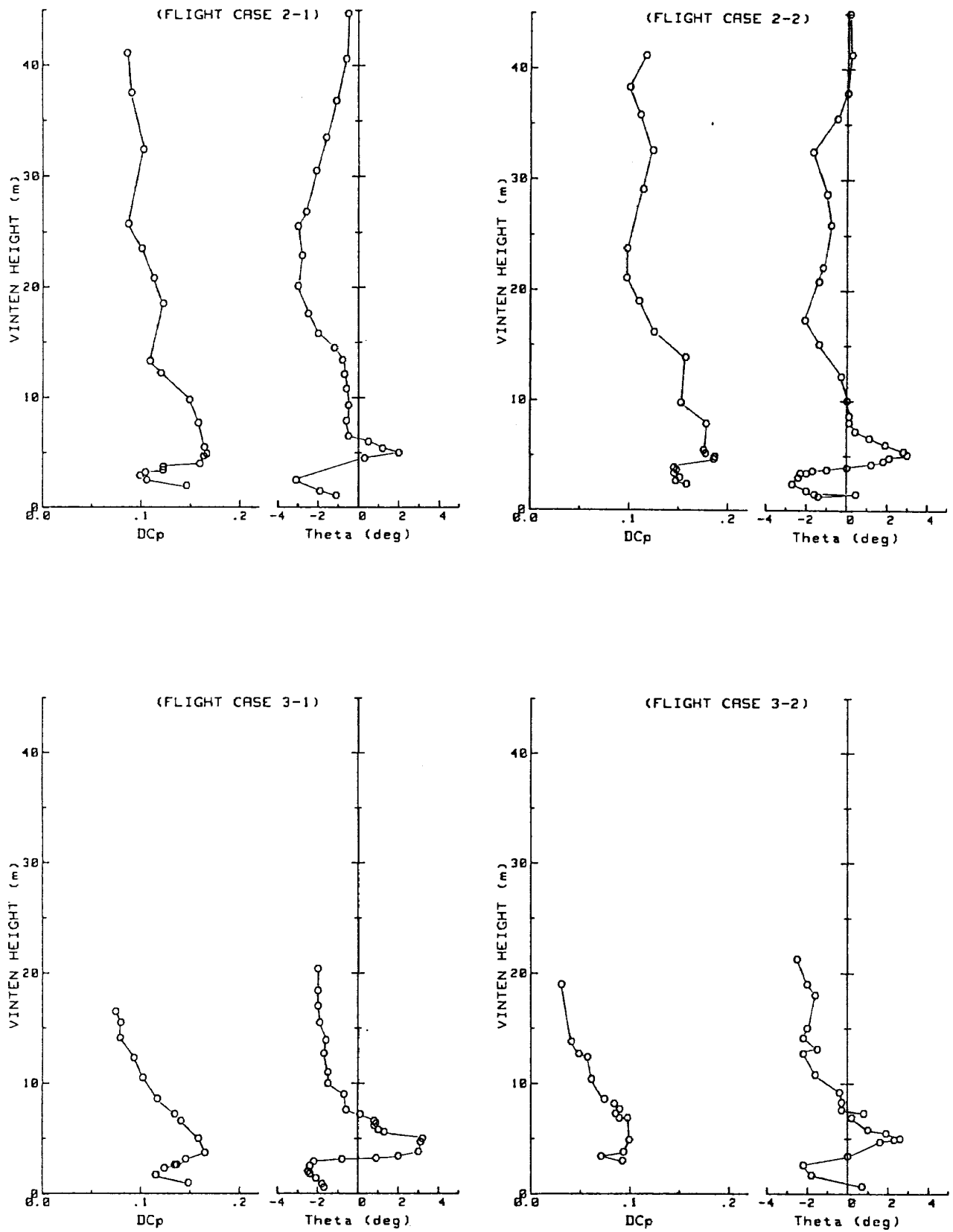


図5 圧力係数でみた静圧誤差 ( $\Delta C_p = \Delta P / (\frac{1}{2} \rho U_T^2)$ ) と姿勢角変化 (おわり)

表4  $(\Delta C_p)_{\text{OGE}}$  の推定値

フライト・ケース	$(\Delta C_p)_{\text{OGE}}$
1-1	0.064
1-2	0.050
2-1	0.096
2-2	0.112
3-1	0.070
3-2	0.040

である。(3)式中の標準偏差 0.027 は本実験において静圧系の位置誤差を推定しうる精度の限界を示すものと考えられる。ちなみに(1),(2)式から逆算すれば、 $\Delta C_p = 0.027$  は  $U_T = 54 \text{ m/s}$  のとき  $\Delta z \doteq -4 \text{ m}$ ,  $\Delta p \doteq 5 \text{ kg/m}^2$  (0.015 in Hg) に対応する。

#### 4. 解析と検討

前述した通り、FDRから得られたTIASは40m/s以上では計器盤の速度計から得られたTIASと矛盾しない。しかし高度データから明らかなように静圧計に位置誤差が存在し、当然の結果としてTIASは真対気速度と相異なる。また完全に無風の場合を除き、真対気速度と対地速度とが一致しないのも勿論である。

付録2, (A2.5) 式から、対地速度:  $U_G$ , TIAS:  $U_{TI} \doteq \sqrt{\rho_0/\rho} U_I$ , 位置誤差に対する速度修正量(密度修正ずみ):  $U_{TP} \doteq \sqrt{\rho_0/\rho} U_P$ , 及び向かい風成分:  $U_W$ , の間には,

$$U_G = U_T - U_W \\ = (U_{TI} + U_{TP}) - U_W \doteq U_{TI} - U_E \quad (4)$$

の関係がある。ただし,

$$U_E \doteq U_W - U_{TP} \quad (5)$$

は位置誤差修正量と向かい風成分との合計であって、直接入手できる速度情報  $U_{TI}$  から真の対地速度  $U_G$  を推定しようとするときの誤差の主要部である。

##### 4.1 速度に関する推定と検討

以下では前処理されたデータを用いて(4)式中の  $U_E$  を(あるいは等価的に  $U_G$  を)推定することを試みる。

- (1) ビンテン・データのみによる  $U_G$  の推定: ビンテン距離  $x_V$  から差分法により対地速度の推定

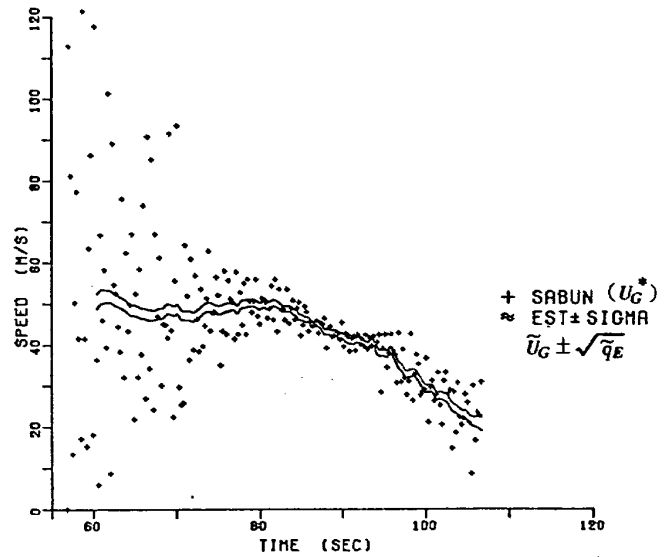


図6 対地速度の比較(差分法とスムーザ)  
(フライト・ケース1-1の例)

値

$$U_G^*(i) = [x_V(i+1) - x_V(i)] / \Delta(i) \quad (6)$$

ただし  $\Delta(i) \doteq t(i+1) - t(i)$ , を求めた例(フライト・ケース1-1)を図6に示す。当然のことながら、 $x_V(i)$ に含まれている読み取り誤差  $v(i)$  のため  $U_G^*(i)$  に誤差が生じており、その分散はアビーム点から離れるに従って大きくなる(付録3, (A3.6) 式参照)。ただし  $v(i)$  は平均零と考えられるから、 $U_G^*(i)$  の誤差も平均零のものと考えて差支えない。

- (2) フィルタ・スムーザによる推定: 単なる差分法によると上述の不具合を避けることができない。そこで以下のモデルに対してフィルタ・スムーザ処理を行なう。

状態方程式:

$$\dot{x} = U_G \quad (7a)$$

$$\dot{U}_E = -\omega_E U_E + w_2 \quad (7b)$$

入力計測:

$$y \doteq U_{TI} - w_1 = U_G + U_E - w_1 \quad (8)$$

出力計測:

$$x_V \doteq x + v \quad (9)$$

(7a) 式は距離と対地速度との関係を表わす。速度の観測値  $y$  にはまず読み取り誤差  $w_1$  が含まれる。更に  $y$  が  $U_G$  の観測値であると(無理に)考えれば、(5)式で定義した  $U_E$  が誤差として介入する。(8)式はこの関係を記述している。

誤差  $U_E$  の統計的性質は差し当りは不明である。しかし、観測期間中を通じて一定とは考えられない迄も、それ程急激に変動する量とも考えられない。(7b)式はこのような判断を反映させるため、 $U_E$  を折点周波数  $\omega_E$  (rad/s) の 1 次有色過程で近似したことを表わしている。最後に(9)式はピンテン距離  $x_V$  が読み取り誤差  $v$  によって汚染されていることを記述している。

実際のデータ処理に用いた数式及びパラメータは付録 3 に述べた通りである。結果として、位置  $x$  と速度誤差  $U_E$  のスモザ推定値  $\tilde{x}$  及び  $\tilde{U}_E$  (附表 1 (9) 及び (11) 列) が得られ、同時に読み取り誤差  $w_1$  の推定値  $\tilde{w}_1$  も得られるので、(8)式から、
$$\tilde{U}_G = (y + \tilde{w}_1) - \tilde{U}_E \quad (10)$$
 として対地速度のスモザ推定値  $\tilde{U}_G$  (附表 1 (10) 列)

が得られる。図 6 には同じフライト・ケース 1-1 について  $\tilde{U}_G$  を(6)式による  $U_G^*$  と比較して示してある。スモザ推定値  $\tilde{U}_E$  の有する理論上の分散値を  $\tilde{q}_E \triangleq E[(U_E - \tilde{U}_E)^2]$  とすると、 $\tilde{U}_G$  の推定誤差も同程度の分散値を有すると考えられる。図 6 中、 $\tilde{U}_G$  の上下の幅は  $\tilde{U}_G \pm \sqrt{\tilde{q}_E}$  を表わしている<sup>註)</sup>。差分推定値と比べてバイアスがなく、また推定誤差が減少していることが判る。

(3) TIAS と  $\tilde{U}_G$  の比較：図 7 には各フライト・ケース毎の  $\tilde{U}_G$  を FDR から得た  $TIAS = U_{TI}$  と比較してある。各ケース共に位置誤差  $U_{TP}$  が小さいと考えられる進入初期段階においては  $U_{TI} \geq \tilde{U}_G$  であって、無風もしくは向かい風状態を示す。これに反し接地が近づくとむしろ  $U_{TI} < \tilde{U}_G$

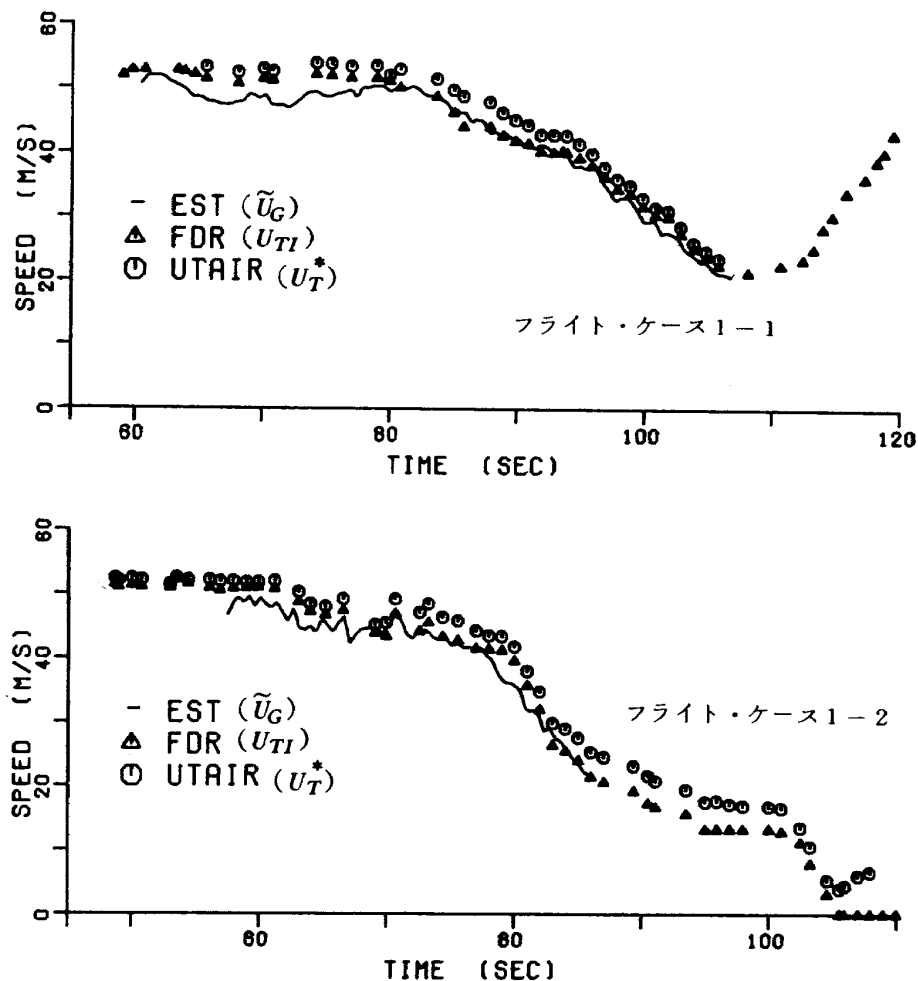


図 7 速度の比較 (つづく)

註)  $\tilde{U}_G$  の推定誤差には  $\tilde{w}_1$  の推定誤差も含まれるが、 $\tilde{U}_E$  のそれよりも充分小さい。またすべての誤差が正規分布とすれば  $\sqrt{\tilde{q}_E}$  はスモザ推定値の有する誤差の  $1\sigma$  を表わす。

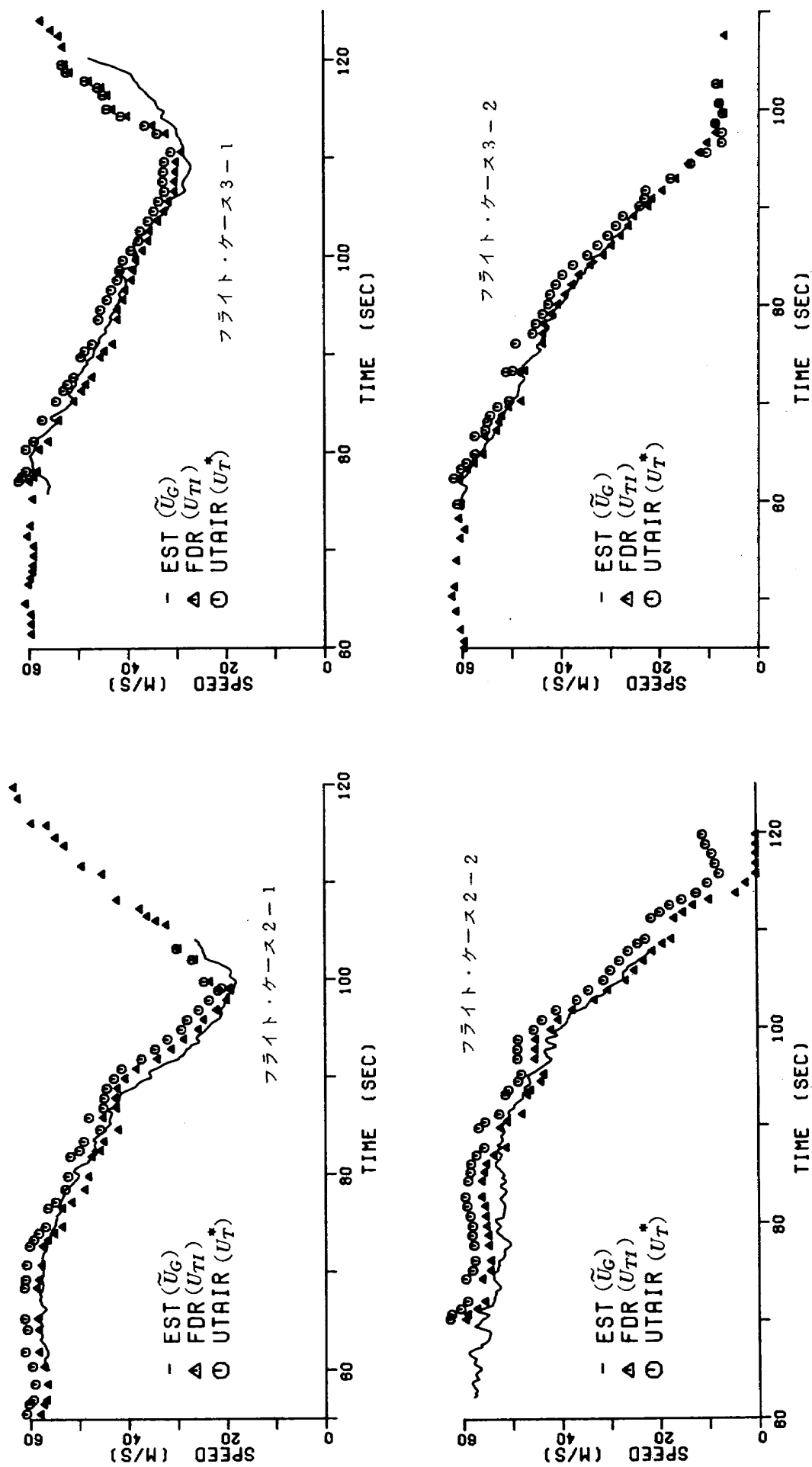


図7 速度の比較 (おわり)

となり、位置誤差修正  $U_{TP}$  が無いものとするれば見掛け上追い風成分があった事を示唆し、地上の風向・風速データと矛盾する。このことは接地前後において  $U_{TP}$  が大きい事を意味し、高度データにおいて大きな地面下への潜り込みが見られた事実と符合する。

- (4) 高度データを用いた  $U_{TP}$  の推定： $U_E$  の中味を  $U_{TP}$  と  $U_W$  とに分離することを考える。付録 2 (A2.7) 式から位置誤差修正速度は密度修正を施した形で、

$$U_{TP} = \sqrt{U_{TI}^2 + \frac{2 \Delta P}{\rho}} - U_{TI} \quad (11)$$

と書ける。ただし、 $\Delta P$  は(2)式によって高度差  $\Delta z$  (附表 2 (5) 列) から得られる。(11) 式から求めた推定値  $U_{TP}^*$  及び  $U_{TI} + U_{TP}^*$  として求めた真対気速度の推定値  $U_T^*$  を附表 2 (7) 列及び(8)列に示す。更に図 7 には  $U_T^*$  を  $\tilde{U}_G$ ,  $U_{TI}$  と比較してある。 $U_{TI}$  と異なり、 $U_T^*$  は  $\tilde{U}_G$  を下廻ることはなく、常に向かい風ないしは無風状態を示している。

- (5) 風のデータとの比較：図 8 には上述のようにして得た  $U_T^*$  と  $\tilde{U}_G$  とから  $U_T^* - \tilde{U}_G$  として求めた  $U_W^*$ 、すなわち時々刻々の航空機の占める位置における向かい風成分の推定値、を時刻に対して示した。同図中にはまた表 1 のデータから地上計測点での向かい風成分  $U_{W0}$  を時刻に対して比較してある。もちろん  $U_W^*$  は空間を移動する点での風の時間履歴であり、 $U_{W0}$  は固定点でのそれであるから、両者の比較が厳密な意味を有するのは航空機が計測点付近を通過する時刻(図中矢印で示す)のみである。両者が一致していない場合でもその差は 2 m/s 程度である。

- (6) QNH 補正の精度：図 8 の結果は表 2 の QNH 補正值に従っている。一方 3.5 節に述べたように、本実験における位置誤差の検定精度は地面効果外における気圧高度にして 4 m (標準偏差) 程度と考えられる。仮にこれが QNH 補正に含まれる不確かさ (0.015 in Hg に相当) によるものとするれば、 $U_{TP}$  の推定値は更に修正を必要とすることになる。(11) 式を線型化して(2)式を代入すれば、この修正量  $\Delta U_{TP}$  は、

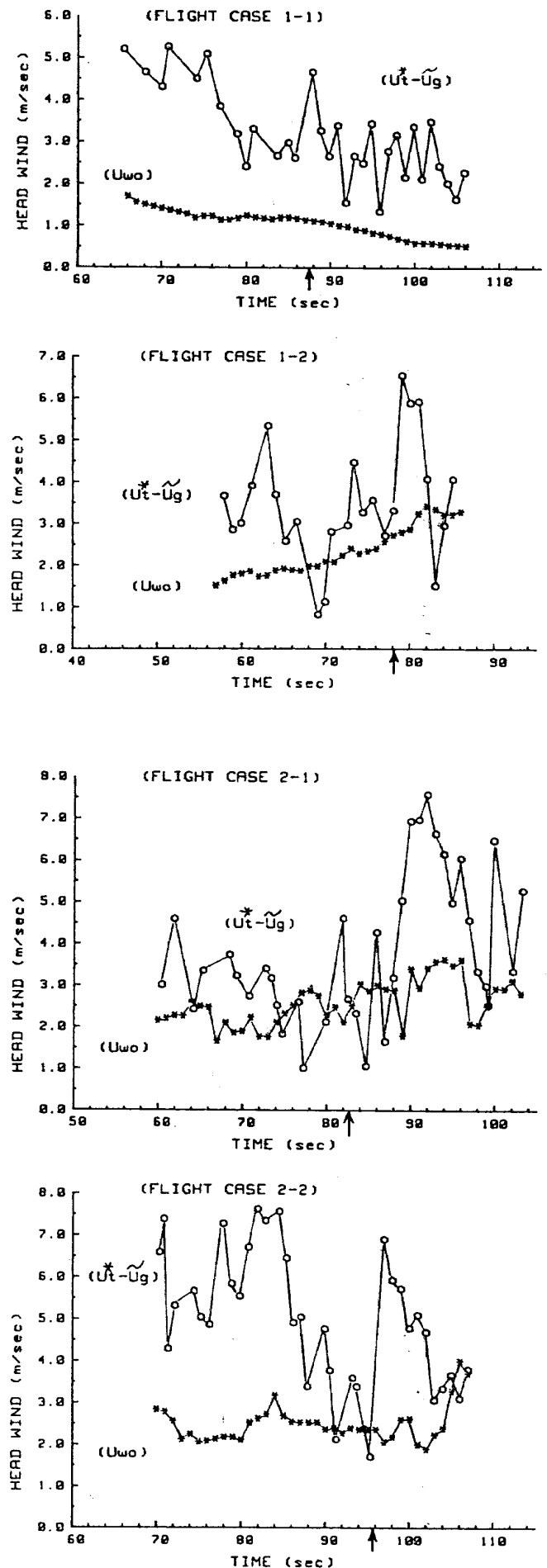


図 8 向かい風成分の比較 (つづく)

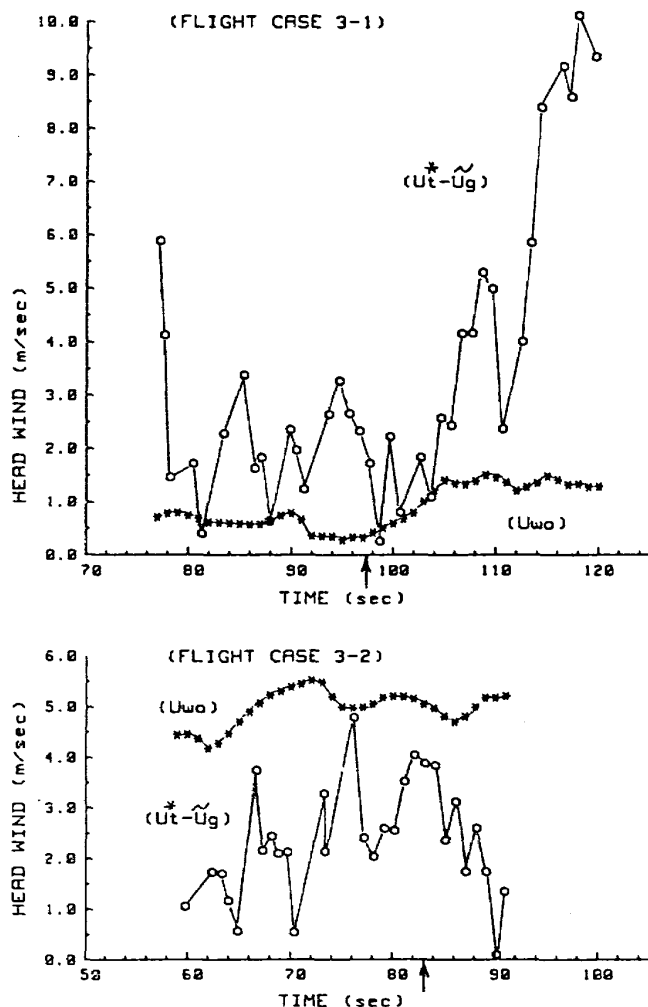


図8 向い風成分の比較(おわり)

$$\Delta U_{TP} \div \frac{1.22 \Delta z}{\rho \cdot U_{TI}} \div 10 \frac{\Delta z}{U_{TI}} \quad (12)$$

与えられる。(12)式は本実験で得られた対気速度の推定精度の限界を与えるものであって、この種の実験において地上風の計測値と共にQN H補正値の精度が極めて重要なことが理解される。

#### 4.2 滑走距離の計算

表5に滑走距離の計算結果を示す。接地時刻  $t = t_{T.D.}$  以後の地上滑走において、TIASが最小値  $U_{TI \min}$  になる時刻  $t_{U \min}$  までに進行した滑走距離に注目する。前節で推定した  $U_T^*$  (附表2(8)列)を用いて、

$$x_{GR}(t) = x^*(t) - x_V(t_{T.D.}) = \int_{t_{T.D.}}^t U_T^*(t) dt \quad (13)$$

を求め、ビンテン・データ  $x_V(t) - x_V(t_{T.D.})$  と比較して図9に示す。完全に無風であれば両者は一致するはずである。実際には(13)式の結果は常にビンテン距離を上廻っている。 $t = t_{U \min}$ における両者の差、

$$\Delta x_{GR} = x^*(t_{U \min}) - x_V(t_{U \min}) \quad (14)$$

を表5(4)列の上段に示す。この距離誤差の平均と標準偏差は、

$$\Delta x_{GR} = 69.3 \pm 28.3 \text{ (m)} \quad (15)$$

となる。

実際には航空機は滑走中に地上風の影響を受けるので、時々刻々の航空機位置における向い風成分を  $U_W(t)$  で表わすと、滑走距離は、

$$x_W(t) = \int_{t_{T.D.}}^t U_W(t) dt \quad (16)$$

だけ補正しなければならない。

$U_W(t)$  は観測されていないので、表1に示す滑走路横の固定点で計測されたデータから  $t_{T.D.} \sim t_{U \min}$

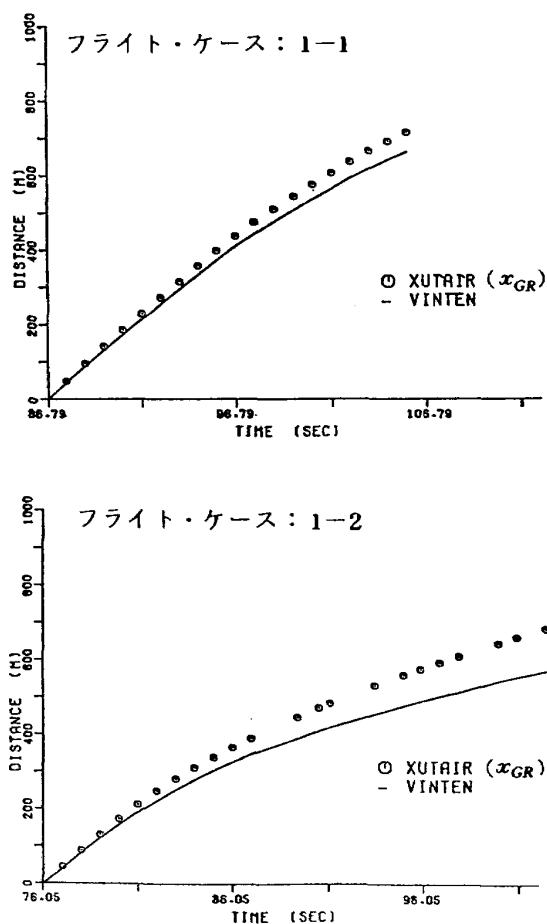


図9 滑走距離(つつく)



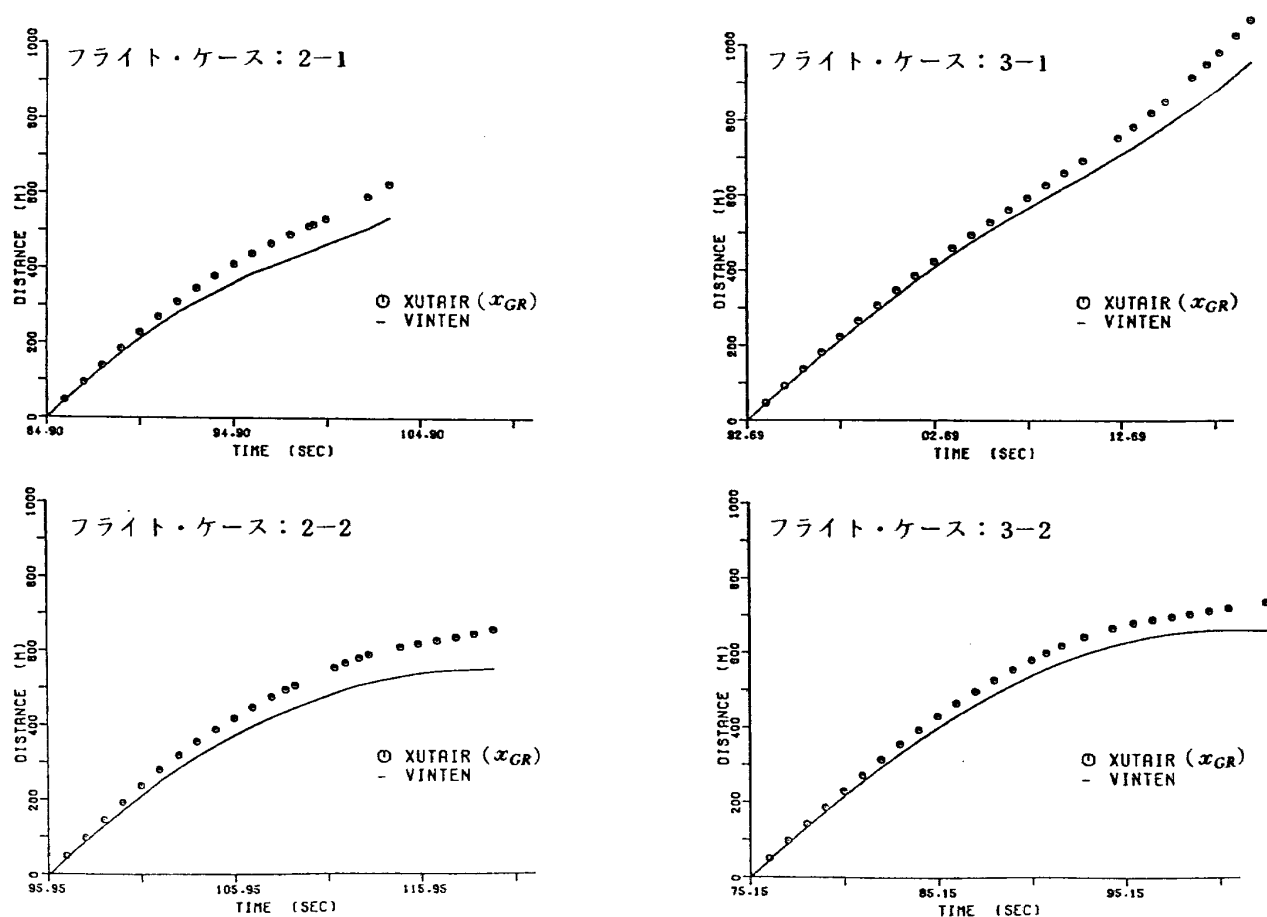


図9 滑走距離(おわり)

表5 滑走距離の計算

フライト ・ケース	(1) 時刻 (sec)	(2) TIAS (m/s)	(3) 滑 走 距 離 (m)		(4) 滑走距離の 誤差 (m)
	$t_{T.D.}$ $t_{Umin}$	$U_{TI}(t_{T.D.})$ $U_{TI}(t_{Umin})$	$\int_{t_{T.D.}}^{t_{Umin}} U_T^*(t) dt$ $(\bar{U}_{W_0} \cdot (t_{Umin} - t_{T.D.}))$	$x_V(t_{Umin})$ $-x_V(t_{T.D.})$	風の修正なし (風の修正あり)
1-1	86.79	43.9	713	661	52
	105.79	22.4	( 15)		( 37)
1-2	76.05	42.2	709	588	121
	105.53	0.0	(118)		( 3)
2-1	84.90	42.6	512	444	68
	98.90	19.1	( 42)		( 26)
2-2	95.95	44.0	614	535	79
	115.83	0.0	( 64)		( 15)
3-1	92.69	42.3	690	646	44
	110.69	28.9	( 16)		( 28)
3-2	75.15	45.0	713	661	52
	99.63	6.9	(120)		(-68)

間における平均向かい風成分 $\bar{U}_{W0}$ を推定し、修正距離

$$x_W \simeq \bar{U}_{W0} \cdot (t_{Umin} - t_{T.D.}) \quad (17)$$

を求めた。これを表5(3)列左側・下段( )に示す。この修正距離を補正すれば(14)式は、

$$\Delta x_{GR} = x^*(t_{Umin}) - x_W - x_V(t_{Umin}) \quad (18)$$

と書き直せる。これを表5(4)列下段( )に示す。この平均と標準偏差は

$$\Delta x_{GR} = 6.8 \pm 38.5 \text{ m} \quad (19)$$

である。標準偏差 38.5 m には前節(6)項で考慮したような QNH 補正值の不確かさによるものも含まれるのはもちろんである。さらに、風向・風速の時間的、空間的な変化が小さい時には(17)式は(18)式をよく近似しうが、そうでないときには(17)式の近似の怪しさが $\Delta x_{GR}$ の推定精度を劣化させることは充分に考えられる。

## 結 論

YS11 型機の着陸をビンテン・カメラで追跡し、計器盤から読み取った指示速度と指示高度、及び FDR から読み取った指示速度と指示高度、を比較して検討した結果、以下の結論が得られた。

1. 静圧系の位置誤差は車輪高度約10m以下において著しく増大し、見かけ上は地下に潜り込むような気圧高度を示す。車輪高度約10m以上では位置誤差はほぼ一定で、 $\Delta p = \Delta C_p \cdot (\frac{1}{2} \rho U_T^2)$ と書いたとき $\Delta C_p = 0.072 \pm 0.027$ 程度と推定

される。 $\Delta C_p$ の標準偏差 0.027 は本実験における静圧誤差(したがって気圧高度誤差)の検定精度を表わすものである。(3)式)

2. ビンテン高度を正しいものとして静圧系の位置誤差を求め、その結果を用いて推定した真対気速度 $U_T^*$ とスモーズ推定による対地速度 $\bar{U}_G$ との差は約 2m/s 程度の誤差範囲内で地上で記録された向かい風成分 $U_{W0}$ と一致する。(図8)
3. 接地後、最小指示速度まで減速する間の滑走距離を推定するために、上記2項の推定真対気速度 $U_T^*$ を積分し、地上固定点で計測された向かい風成分の平均値で補正して得た滑走距離はビンテン距離と比較して標準偏差 38.5 (m) の差がみられる。
4. 上記1項は QNH 補正の不確かさを含めて本実験における FDR 高度が 4 m 程度の不確かさ(標準偏差)を有することを意味し、推定された真対気速度にもそれに対応した不確かさを含むことを意味する(12式)。

## 文 献

- 1) 幸尾他；航空機用対気速度計の位置誤差について；航技研報告 TR-298 (1973年)
- 2) 運輸省航空局検査課編集；耐空性審査要領 第I部、定義
- 3) Bryson, Jr., A.E. and Ho, Y.C.; Applied Optimal Control ; Ginn and Co., (1969)

## 付録 1. FDR の器差の較正

テキサス社製 Air Data System Model 166 による FDR の指示速度および指示高度の飛行前後における較正結果を表 6 に示す。

付録 2. 各種の速度<sup>2)</sup>

$\rho_0 = 0.1249 \text{ kg s}^2/\text{m}^4$ ,  $P (\text{kg}/\text{m}^2)$  : 総圧,  
 $p_m (\text{kg}/\text{m}^2)$  : 静圧系で計測される静圧,  $U_I (\text{m}/\text{s})$   
 : 指示対気速度とすると,

$$U_I = \sqrt{2(P - p_m) / \rho_0} \quad (\text{A2.1})$$

である。もし器差修正の必要がないと仮定できれば,  
 較正対気速度  $U_C (\text{m}/\text{s})$  は位置誤差による修正速度  
 $U_P (\text{m}/\text{s})$  を用いて,

$$U_C = U_I + U_P \quad (\text{A2.2})$$

であり, また真対気速度  $U_T (\text{m}/\text{s})$  は

$$U_T = \sqrt{\rho_0 / \rho} U_C \quad (\text{A2.3})$$

である。 $\rho (\text{kg s}^2/\text{m}^4)$  はそのときの真の空気密度である。最後に, 対地速度  $U_G (\text{m}/\text{s})$  は, そのとき吹いた風の飛行方向成分を  $U_W (\text{m}/\text{s})$  (向かい風を正) とすると,

$$U_G = U_T - U_W \quad (\text{A2.4})$$

と書くことができる。

(A2.2), (A2.3), (A2.4) 式から

$$U_G = \sqrt{\rho_0 / \rho} (U_I + U_P) - U_W \quad (\text{A2.5})$$

である。

もし真の静圧を  $P (\text{kg}/\text{m}^2)$  とすれば,

表 6 FDR の器差の較正

高 度 ft	標準圧力 in Hg	実験前 計測値 in	実験後 計測値 in	速 度 kt	標準圧力 in Hg	実験前 計測値 in	実験後 計測値 in
0	29.921	0.1729	0.1734	0	0.000	1.75305	1.75305
100	29.813	0.17785	0.1783	10	0.005	1.75355	—
200	29.706	0.1826	0.18305	20	0.019	1.75420	—
300	29.598	0.1875	0.1880	30	0.043	1.75560	1.75545
400	29.491	0.19255	0.19305	40	0.077	1.75745	1.75735
500	29.385	0.19755	0.19805	50	0.120	1.76030	1.76015
600	29.278	0.20245	0.20295	60	0.123	1.76380	1.76375
700	29.172	0.20735	0.2079	70	0.235	1.76810	1.76795
800	29.066	0.2123	0.21295	80	0.307	1.77285	1.77270
900	28.961	0.2172	0.21785	90	0.390	1.77830	1.77825
1,000	28.856	0.22225	0.2229	100	0.481	1.78465	1.78455
1,100	28.751	0.2270	0.22775	110	0.583	1.79150	1.79135
1,200	28.646	0.2321	0.2327	120	0.695	1.79910	1.79910
1,300	28.542	0.23655	0.2373	130	0.817	1.80715	1.80710
1,400	28.438	0.24145	0.24215	140	0.958	1.81545	1.81540
1,500	28.335	0.24665	0.2472	150	1.091	1.82510	1.82490
				160	1.243	1.83490	1.83490
				170	1.406	1.84570	1.84600
				180	1.580	1.85735	1.85725
				190	1.764	1.86945	1.86945
				200	1.959	1.88240	1.88230

$$U_T = \sqrt{2(P-p)/\rho} \quad (\text{A2.6})$$

なる故、(A2.1)～(A2.3)式を用いて、

$$U_P = \sqrt{2(p_m - p)/\rho_0 + U_I^2} - U_I \quad (\text{A2.7})$$

である。

### 付録3. フィルタ・スモージ処理

(7a)式と(8)式とから $U_G$ を消去すると、(7b)式と共に

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{U}_E \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 0 & -\omega_E \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ U_E \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} y + w_1 \\ w_2 \end{pmatrix} \quad (\text{A3.1})$$

となる。離散系で書けば状態推移は、

$$\begin{pmatrix} x(i+1) \\ U_E(i+1) \end{pmatrix} = \Phi(i) \begin{pmatrix} x(i) \\ U_E(i) \end{pmatrix} + \Gamma(i) \begin{pmatrix} y(i) + w_1(i) \\ w_2(i) \end{pmatrix} \quad (\text{A3.2})$$

で表わされる。ただし遷移行列は $\Delta(i) \triangleq t(i+1) - t(i)$ として

$$\left. \begin{aligned} \Phi(i) &= \begin{pmatrix} 1 - (1 - e^{-\omega_E \Delta(i)})/\omega_E & e^{-\omega_E \Delta(i)} \\ 0 & e^{-\omega_E \Delta(i)} \end{pmatrix} \\ \Gamma(i) &= \begin{pmatrix} \Delta(i) [(1 - e^{-\omega_E \Delta(i)}) - \omega_E \Delta(i)]/\omega_E^2 & \\ 0 & (1 - e^{-\omega_E \Delta(i)})/\omega_E \end{pmatrix} \end{aligned} \right\} \quad (\text{A3.3})$$

である。出力計測は

$$x_V(i) = H \cdot \begin{pmatrix} x(i) \\ U_E(i) \end{pmatrix} + v(i); H \triangleq (1, 0) \quad (\text{A3.4})$$

である。

(A3.2)～(A3.4)式で与えられるシステムに順時間でフィルタ処理<sup>3)</sup>を行なえばフィルタ推定値 $\hat{x}(i)$ ,  $\hat{U}_E(i)$ ;  $i = 1, \dots, N$ が得られる。次に逆時間で第2のフィルタ処理(スモージ処理<sup>3)</sup>)を行なえば、スモージ推定値 $\tilde{x}(i)$ ,  $\tilde{w}_1(i)$ ,  $\tilde{w}_2(i)$ ;  $i = 1, \dots, N$ が得られる。

これらフィルタ・スモージ処理に必要なパラメタは以下のように定めた。定常白色雑音 $w_1(i)$ はフォート・データにおける対気速度の読み取り誤差であるから平均値は零である。また最小読み取り分解能を1Ktとして正規分布による標準偏差を対応させて $\sqrt{E\{w_1^2\}} = 0.144 \text{ (m/s)}$ を用いた。定常白色雑音 $w_2(i)$ 及び折点周波数 $\omega_E$ は速度誤差 $U_E(i)$ をモデル化するために導入された仮想的なものである。 $w_2$ と $U_E$ との自乗平均の間には $E\{\Delta(i)\} \triangleq \bar{\Delta}$ として、

$$E\{U_E^2\} = \frac{1 - e^{-\omega_E \bar{\Delta}}}{\omega_E^2 (1 + e^{-\omega_E \bar{\Delta}})} \cdot E\{w_2^2\} \quad (\text{A3.5})$$

の関係がある。最後にビンテン距離の読み取り誤差 $v(i)$ はやはり平均値零と仮定できる。またその強さが、

$$E\{v^2(i)\} = E\{v_0^2\} \cdot [1 + (x_V(i)/l)^2]^2 \quad (\text{A3.6})$$

のように変化するものと仮定した。ただし $E\{v_0^2\}$ はアビーム点付近での分散値、 $l \text{ (m)}$ はカメラとアビーム点との間の距離であって、(A3.6)式は $v(i)$ がカメラから航空機を見た“方位角”の推定に含まれる誤差によることを表現したものである。

表7 フィルタ・スモージ処理に用いたパラメタ

フライト ・ケース	$\sqrt{E\{v^2\}}$ (m)	$\sqrt{E\{U_E^2\}}$ (m/s)	$\sqrt{E\{w_1^2\}}$ (m/s)	$\omega_E$ (rad/s)
1-1	0.358	2.0	0.144	0.5
1-2	1.257	1.2	0.144	0.5
2-1	0.518	0.75	0.144	0.5
2-2	0.641	2.0	0.144	0.5
3-1	0.606	3.0	0.144	0.5
3-2	0.456	0.75	0.144	0.5

$E[v_0^2]$  の大きさ, 折点周波数  $\omega_E$  及び  $E[U_E^2]$  の大きさは, 順時間フィルタ処理時に得られる出力残差を規準化した時系列

$$\hat{v}(i) \triangleq [x_v(i) - \hat{x}(i)] / [1 + (x_v(i)/l)^2] \quad (\text{A3.7})$$

が平均値零で強さが  $E[v_0^2]$  の白色雑音過程に近くなるように試行錯誤的に定めた。各フライト・ケース毎に与えたパラメタ値を表7に一括して示す。また上述のように規準化された出力残差の自己相関  $E[\hat{v}(i) \cdot \hat{v}(i+k)]$  の推定例(フライトケース1-1)を図10に示す。

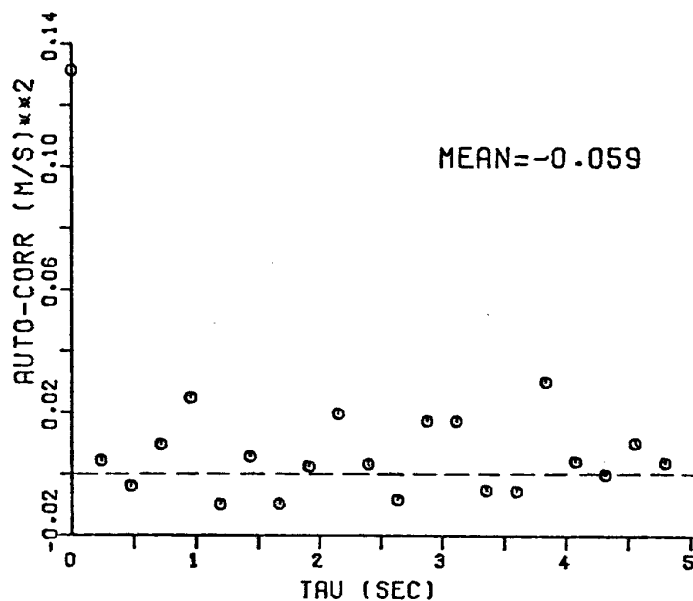


図 10 フィルタ処理における出力残差の自己相関の推定  
(フライト・ケース1-1の例)

\*\*\* YS-11 KIJMAMOTO CASE NO. 1-1 N.L./D \*\*\*

WINTEN DATA			PHOTO DATA				FILTER-SMOOTHER			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
TIME	HEIGHT	DISTANCE	PITCH	TIME	HEIGHT	SPED	RADIO	DISTANCE	GROUND	BIAS
(SFC)	(M)	(M)	(DEG)	(SEC)	(M)	(M/S)	(M)	(M)	(M/S)	(M/S)
56.84	71.7	-1523.5	0.0							
57.07	71.2	-1497.6	0.1							
57.33	70.3	-1476.5	0.0							
57.56	69.5	-1473.4	0.0							
57.81	69.4	-1460.8	0.1							
58.04	67.4	-1443.0	0.1							
58.28	67.3	-1433.0	0.1							
58.54	65.6	-1424.5	0.2							
58.76	66.1	-1401.8	0.2							
59.01	66.2	-1391.4	0.2							
59.24	64.9	-1387.9	0.2							
59.48	64.9	-1372.6	0.2							
59.74	64.0	-1350.2	0.2							
59.94	61.5	-1355.8	0.2							
60.19	61.7	-1324.4	0.2							
60.44	62.1	-1315.3	0.2	60.42	43.9	51.93	50.9	-1321.3	50.66	1.32
60.64	61.8	-1316.5	0.2	60.86	43.9	51.98		-1311.1	51.22	1.23
60.91	62.3	-1294.5	0.2			52.45	51.2			
61.14	62.1	-1287.9	0.2	61.30	43.9	52.97		-1297.2	51.82	1.16
61.38	61.6	-1273.9	0.3			52.97	50.9	-1285.3	51.88	1.09
61.63	60.8	-1264.0	0.3	61.75	43.3	52.97	51.2	-1272.9	51.91	1.06
61.86	60.4	-1240.7	0.3			52.97		-1259.9	51.90	1.07
62.10	60.7	-1242.8	0.3			52.97		-1248.0	51.86	1.11
				62.19	42.4	52.97	51.2	-1235.5	51.80	1.18
62.34	59.2	-1221.4	0.3			52.80		-1223.1	51.51	1.29
62.57	59.6	-1208.8	0.3	62.64	41.5	52.53	51.5	-1211.3	51.10	1.43
62.81	58.9	-1196.2	0.2			52.45		-1199.0	50.82	1.63
63.04	59.0	-1186.0	0.2	63.08	41.2	52.45	51.2	-1187.3	50.63	1.82
63.28	58.6	-1176.8	0.2			52.45		-1175.2	50.39	2.06
63.52	57.7	-1154.6	0.2	63.52	40.6	52.45	50.0	-1163.1	50.11	2.34
63.75	56.9	-1151.2	0.2	63.97	39.4	52.45	48.8	-1151.6	49.86	2.59
63.99	56.0	-1136.2	0.1			52.45		-1139.6	49.54	2.89
64.23	55.2	-1125.8	0.1	64.41	37.8	52.15	47.5	-1127.7	48.96	3.19
64.47	54.6	-1113.9	0.0			51.93		-1116.0	48.52	3.48
64.71	54.2	-1097.8	0.0			52.00		-1104.3	48.54	3.75
						52.29				

附表 1 実験データ及び結果(フライト・ケース 1-1 の例)(その 2)

64.95	53.7	-1092.5	0.1	64.85	37.2	52.45	46.3	-1092.7	48.50	3.96
65.18	52.9	-1081.4	0.1			52.45		-1081.5	48.38	4.07
65.42	52.4	-1072.7	0.1	65.30	35.4	52.45	45.1			
65.65	50.3	-1059.3	0.1			52.31		-1069.9	48.15	4.16
				65.74	34.2	52.04	43.3	-1058.9	47.85	4.19
65.88	49.3	-1051.6	0.1			51.93				
66.12	48.3	-1032.8	0.1	66.19	33.3	51.93	41.5	-1047.9	47.75	4.18
						51.73		-1036.4	47.75	
66.36	47.9	-1026.3	0.3	66.63	31.8	51.41		-1025.0	47.60	4.13
66.60	46.5	-1004.6	0.5			51.45	39.3	-1013.6	47.41	4.04
				67.08	30.2	51.18		-1002.7	47.35	3.83
66.83	46.9	-1012.5	0.4			50.90	38.4			
						50.90		-990.9	47.32	3.58
67.08	46.0	-991.1	0.3	67.52	28.7	50.62	37.2	-980.1	47.33	3.30
67.31	45.4	-985.6	0.4			50.38				
				67.97	28.1	50.38	36.0	-969.7	47.34	3.04
67.53	44.6	-970.8	0.4			50.32		-957.8	47.60	2.78
67.78	43.6	-959.1	0.2	68.41	27.5	50.06	34.4			
						49.86		-923.6	47.92	2.15
68.02	43.4	-944.3	0.2	68.86	27.2	50.62	33.5	-912.0	48.61	2.01
68.26	42.2	-937.1	0.2			50.90				
				69.31	27.2	50.90	32.3	-900.8	48.93	1.96
68.50	41.5	-926.3	0.1			50.90		-889.5	48.82	2.07
68.74	41.0	-915.5	0.1	69.75	26.6	50.90	31.4	-877.8	48.59	2.31
						51.45		-866.6	48.34	2.55
68.97	40.4	-905.8	0.1	70.20	25.7	52.28	30.8			
69.20	40.2	-884.8	0.1			52.45		-855.0	48.52	2.93
				70.65	25.7	52.04	30.2	-843.2	48.85	3.43
69.44	39.1	-874.3	0.2			51.46				
69.67	39.3	-869.1	0.4	71.09	24.1	51.41	29.6	-832.0	48.23	3.80
						51.41		-820.0	47.35	4.10
69.91	38.5	-855.8	0.3	71.54	22.6	51.41	28.3			
70.15	38.0	-833.3	0.3			51.10		-775.6	47.23	4.15
				71.99	21.4	50.90	27.7	-764.3	46.97	4.13
70.38	37.2	-826.5	0.1			50.95				
70.63	37.0	-820.1	0.1	72.43	20.8	51.24	27.1	-753.5	46.87	4.09
						51.41		-742.2	47.16	4.08
70.86	36.5	-814.2	0.1			51.41				
				71.99	24.1	51.41	29.6	-809.1	47.24	4.17
71.10	35.9	-798.7	0.0			51.41				
71.33	35.1	-786.8	0.0	71.54	22.6	51.41	28.3	-797.8	47.21	4.21
						51.41		-786.9	47.22	4.19
71.57	34.8	-774.0	0.0			51.41				
71.81	34.2	-763.4	0.0	71.99	21.4	51.10	27.7	-775.6	47.23	4.15
						50.90		-764.3	46.97	4.13
72.04	33.9	-754.4	0.0			50.95				
72.28	33.3	-740.8	0.0	72.43	20.8	51.24	27.1	-753.5	46.87	4.09
						51.41		-742.2	47.16	4.08
72.51	33.0	-730.1	0.0			51.41				
72.73	32.4	-721.7	0.0			51.76		-731.4	47.48	4.02
								-720.9	47.85	3.91

附表1 実験データ及び結果(フライト・ケース1-1の例)(その3)

72.99	31.4	-707.7	0.0	72.88	19.6	51.93	25.9	-708.4	48.27	3.79
73.23	30.9	-694.1	0.0			52.06		-696.8	48.75	3.58
				73.33	19.6	52.34	25.0			
73.45	31.0	-684.3	-0.3			52.45		-686.1	49.10	3.36
73.70	30.4	-675.5	-0.4			52.45		-673.8	49.27	3.19
				73.77	19.0	52.45	24.7			
73.94	31.3	-660.4	-0.5			52.45		-662.0	49.32	3.13
74.17	28.7	-650.3	-0.5			52.45		-650.6	49.34	3.11
				74.22	17.1	52.45	24.4			
74.41	28.0	-638.8	-0.4			52.23		-638.8	49.09	3.15
74.64	27.1	-627.8	-0.2			51.97		-627.5	48.77	3.20
				74.67	16.5	51.93	23.2			
74.87	26.6	-614.8	-0.1			51.93		-616.3	48.64	3.29
75.10	26.3	-602.8	0.0			51.93		-605.1	48.56	3.37
				75.11	15.3	51.93	21.6			
75.34	25.0	-594.3	0.0			51.93		-593.5	48.63	3.30
				75.56	13.5	51.93	20.4			
75.58	24.4	-583.9	-0.6			51.93		-581.8	48.82	3.11
75.82	23.5	-570.0	-0.7			51.93		-570.1	49.00	2.94
				76.01	13.5	51.93	18.9			
76.05	19.6	-560.1	-0.5			51.93		-558.8	49.17	2.77
76.29	19.6	-546.8	-0.7			51.93		-547.0	49.25	2.69
				76.45	11.0	51.93	17.7			
76.53	16.9	-534.5	-0.6			52.03		-535.2	49.34	2.69
76.76	18.5	-522.9	-1.0			52.29	16.2	-523.8	49.61	2.68
				76.90	9.8	52.45				
77.02	20.5	-512.1	-0.9			52.04		-510.9	49.41	2.63
77.25	20.0	-494.8	-0.9			51.24		-499.7	48.65	2.59
				77.35	8.3	50.90	14.9			
77.47	19.4	-484.4	-1.2			51.31		-489.0	48.82	2.49
77.72	18.7	-476.2	-1.0			52.18		-476.7	49.78	2.39
				77.80	7.4	52.45	13.4			
77.94	18.1	-466.3	-1.2			52.29		-465.7	50.06	2.24
78.17	17.4	-453.6	-1.0			52.03		-454.2	49.95	2.08
				78.25	5.8	51.93	12.5			
78.42	16.6	-443.0	-1.0			51.93		-441.7	50.11	1.83
78.65	16.1	-430.1	-1.1			51.93		-430.2	50.24	1.69
				78.70	4.9	51.93	11.3			
78.89	15.4	-417.9	-0.3			51.93		-418.1	50.30	1.64
79.13	14.6	-406.4	-0.3			51.93		-406.1	50.31	1.62
				79.14	4.0	51.93	10.1			
79.36	14.3	-394.7	-0.1			51.93		-394.5	50.24	1.69
79.59	6.3	-381.8	0.0			51.93	9.1	-382.9	50.03	1.90
79.83	3.1	-370.5	0.0			51.66		-371.0	49.61	2.04
				80.04	1.3	51.41	8.5			
80.06	9.6	-360.2	0.2			51.44		-359.6	49.44	1.99
80.31	12.2	-347.3	0.0			51.73		-347.2	49.82	1.90
				80.49	1.0	51.93	7.3			
80.54	10.6	-332.6	0.0			51.82		-335.7	50.01	1.80
80.76	11.0	-324.5	0.0			51.31	6.4	-324.8	49.65	1.66
				80.94	-0.9	50.90				
81.01	10.8	-312.8	0.0			50.90		-312.4	49.58	1.32
81.24	12.0	-301.6	0.0			50.90		-301.0	49.90	0.99



附表 1 実験データ及び結果 (フライト・ケース 1-1 の例) (その 4)

81.47	8.2	-284.0	0.1	81.39	-2.4	50.90	5.8	-289.5	50.07	0.83
81.72	6.9	-277.5	0.1			50.90		-277.0	50.30	0.59
81.94	8.2	-265.2	0.2	81.84	-4.8	50.90	4.9	-266.0	50.12	0.54
82.18	11.6	-254.8	0.4			50.66		-254.0	49.87	0.24
82.42	11.0	-241.9	0.4	82.29	-6.3	49.86	4.3	-242.1	49.45	0.11
82.65	10.5	-230.7	0.9			49.56		-230.8	49.02	0.00
82.88	10.0	-214.5	1.2	82.74	-7.9	49.03	3.7	-219.6	48.80	-0.14
83.13	9.5	-204.0	1.2			48.82		-207.4	48.82	-0.44
83.36	7.5	-195.6	1.2	83.19	-8.8	48.66	3.0	-196.2	48.72	-0.42
83.59	5.9	-185.2	1.3			48.37		-185.0	48.83	-0.53
83.83	7.1	-173.5	1.3	83.64	-10.3	48.30	2.4	-173.3	48.65	-0.57
84.06	4.1	-161.8	1.4			48.08		-162.1	48.16	-0.34
84.30	5.4	-150.8	1.6	84.09	-10.9	47.78	2.1	-150.6	47.89	-0.11
84.53	5.1	-134.5	1.6			47.78		-139.6	47.50	0.29
84.76	4.8	-127.9	1.7	84.54	-12.4	47.78	1.5	-128.7	46.71	0.80
85.01	4.7	-117.3	1.7	84.99	-13.7	47.53	0.9	-117.0	46.70	0.48
85.25	4.4	-106.6	1.7			47.19		-105.9	46.61	-0.24
85.48	4.2	-95.2	2.1	85.44	-14.0	46.56	0.6	-95.3	46.20	-0.49
85.70	3.9	-84.6	2.1			45.70		-85.1	46.14	-0.45
85.95	3.8	-73.8	2.1	85.89	-14.0	45.70	0.6	-73.6	46.15	-0.83
86.19	3.6	-62.8	2.3			45.32		-62.7	45.08	-1.27
86.43	3.4	-52.0	2.5	86.30	-15.5	43.11	0.3	-52.0	44.81	-1.71
86.66	3.5	-41.7	2.5			43.11		-41.7	45.13	-2.02
86.89	3.5	-31.1	3.0	86.79	-18.5	43.11	0.0	-31.3	45.10	-2.23
87.13	3.4	-20.8	2.8			42.87		-20.6	45.03	-2.70
87.37	3.5	-10.0	3.0	87.24	-20.1	42.07	0.3	-9.8	44.68	-2.90
87.60	3.3	0.4	3.2			41.77		0.4	43.84	-2.60
87.83	3.1	11.1	3.2	87.69	-20.7	41.24	0.6	10.5	43.03	-1.85
88.07	3.0	20.5	3.0			41.03		20.8	43.19	-1.73
88.31	2.9	31.1	2.3	88.15	-20.7	41.19	0.3	31.2	43.20	-1.63
88.54	2.7	41.3	1.8			41.46		41.1	42.96	-1.42
88.78	2.8	51.4	1.0	88.60	-20.7	41.55	0.0	51.4	42.93	-1.38
89.02	2.8	61.6	0.2			41.55		61.7	43.11	-1.56
				89.05	-20.7	41.55	0.0			



附表 1 実験データ及び結果(フライト・ケース 1-1-1 の例)(その 6)

97.27	1.2	384.7	-1.6	.	35.56	.	389.0	33.89	1.67	.
97.51	1.1	397.4	-1.6	.	34.75	.	397.0	33.03	1.71	.
97.75	1.7	404.1	-1.6	.	34.28	-19.5	.	32.76	1.51	.
97.99	1.6	411.6	-1.6	.	34.28	.	404.9	33.04	1.24	.
98.22	1.8	421.4	-1.5	.	34.28	-19.1	.	33.12	1.15	.
98.45	1.2	427.5	-1.5	.	34.28	.	420.4	33.22	1.05	.
98.67	1.6	434.7	-1.5	.	34.28	-19.1	.	33.12	1.02	.
98.92	1.2	444.1	-1.5	.	34.14	.	435.3	32.62	1.23	.
99.15	1.4	452.2	-1.5	.	33.85	-19.1	.	31.92	1.49	.
99.39	1.4	458.9	-1.5	.	33.76	.	443.5	31.16	1.71	.
99.63	1.9	465.7	-1.5	.	32.72	-19.1	.	30.31	1.82	.
99.87	1.9	472.7	-1.4	.	32.13	.	466.0	29.44	1.86	.
100.10	1.6	481.2	-1.4	.	31.30	-19.1	.	29.29	1.87	.
100.34	2.0	486.3	-1.4	.	31.16	.	479.9	29.46	1.70	.
100.57	1.7	493.1	-1.4	.	31.16	-19.1	.	29.46	1.45	.
100.81	1.8	500.6	-1.4	.	30.92	-17.6	.	29.48	1.16	.
101.05	1.5	506.9	-1.4	.	30.64	.	500.7	28.45	0.84	.
101.28	1.7	513.4	-1.3	.	29.29	-17.0	.	27.47	0.58	.
101.52	1.3	521.4	-1.3	.	28.04	.	514.0	27.63	0.42	.
101.75	1.8	527.2	-1.3	.	28.04	-17.0	.	27.71	0.30	.
101.98	0.1	531.9	-1.3	.	28.01	.	527.0	27.55	0.20	.
102.22	1.0	534.4	-1.3	.	27.74	-17.0	.	27.29	0.24	.
102.45	1.1	547.1	-1.3	.	27.52	.	539.9	27.08	0.45	.
102.69	1.2	553.9	-1.3	.	27.52	-17.0	.	26.57	0.79	.
102.93	1.7	560.9	-1.3	.	27.36	.	559.0	25.66	1.15	.
103.17	1.5	564.4	-1.3	.	26.81	-17.0	.	24.99	1.37	.
103.41	1.1	571.3	-1.2	.	26.49	.	565.1	24.58	1.52	.
103.64	1.0	575.6	-1.2	.	26.37	-17.0	.	24.28	1.55	.
103.86	0.9	582.4	-1.2	.	26.09	.	571.0	24.01	1.56	.
104.11	1.0	584.0	-1.2	.	25.97	-17.0	.	23.58	1.55	.
104.35	0.9	593.0	-1.2	.	25.83	.	587.9	23.12	1.47	.
104.57	1.1	597.8	-1.2	.	25.57	-17.0	.	23.03	1.38	.
104.81	0.6	604.6	-1.2	.	25.45	.	593.5	23.09	1.32	.
105.05	0.8	610.8	-1.2	.	24.41	-17.0	.	22.57	1.25	.
105.29	0.7	615.8	-1.2	.	24.41	.	604.1	21.87	1.11	.
				.	24.41	-17.0	.			.
				.	23.82	.	609.6			.
				.	22.99	.	614.9			.
				.		.				.

附表1 実験データ及び結果（フライト・ケース1-1の例）（その7）

105.53	0.6	617.9	-1.2	105.33	-17.0	22.85	-0.5	620.1	21.56	0.84
105.75	1.5	624.5	-1.2			22.40		624.8	21.31	0.59
				105.79	-16.7	21.90	-0.5			
105.99	-1.6	628.6	-1.1			21.81		629.8	21.28	0.30
106.23	0.9	634.2	-1.1	106.24	-16.7	21.58	-0.5	634.9	21.22	0.08
						21.30				
106.47	0.9	639.7	-1.1			21.29	-0.5	640.0	21.06	-0.03
				106.69	-16.4	21.03	-0.5			
106.72	1.0	647.5	-1.1			20.77	-0.5	645.2	20.80	-0.03
				107.15	-15.8	20.77	-0.5			
				107.60	-15.8	20.77	-0.5			
				108.05	-15.8	20.25	-0.5			
				108.51	-15.5	19.73	-0.5			

附表 2 実験データ及び結果 (フライト・ケース 1-1 の例)

\*\*\* YS-11 KUMAMOTO CASE NO.1-1 N.L/D \*\*\*

FDR DATA				P.E. CORRECTION			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
S.TIME	SPEED	H.TIME	HEIGHT	DELTA	DELTA STATIC	DELTA	TRUE AIR
(SEC)	(M/S)	(SEC)	(M)	HEIGHT	PRESSURE	SPEED	SPEED
				(M)	(KG/M**2)	(M/S)	(M/S)
				( $\Delta z$ )	( $\Delta p$ )	( $U_{TP}$ )	( $U_T^*$ )
58.97	51.83						
59.69	52.71						
60.71	52.76						
63.29	52.71						
63.83	52.45						
64.61	52.04						
65.51	51.36	65.27	43.2				
			41.5	-10.0	12.05	1.88	53.24
		66.17	37.0				
		67.55	34.5				
68.03	50.53		33.4	-9.9	11.86	1.88	52.41
		68.69	32.0				
		69.71	30.1				
70.01	51.36		29.8	-8.5	10.24	1.60	52.96
70.73	51.10		29.0	-7.8	9.38	1.48	52.58
		70.79	28.9				
		71.49	24.5				
		73.43	21.4				
74.15	52.04		19.1	-9.8	11.74	1.81	53.85
		74.21	19.0				
		74.49	16.5				
75.35	51.83		14.7	-10.3	12.35	1.91	53.74
		75.77	12.7				
		75.77	10.8				
76.91	51.52		9.9	-9.8	11.74	1.83	53.34
		77.81	9.0				
78.89	51.52		4.9	-10.5	12.66	1.97	53.49
		78.45	4.6				
		79.61	1.5				
79.91	51.05		0.6	-4.8	5.77	0.91	51.97
		80.39	-1.0				
80.75	50.06		-4.2	-15.2	18.37	2.91	52.97
		80.87	-5.3				
		83.51	-7.8				
83.63	48.66		-8.2	-14.3	17.25	2.81	51.47
84.95	46.17		-12.4	-17.1	20.66	3.52	49.68
		85.07	-12.7				
85.73	43.94		-18.8	-22.8	27.44	4.83	48.76
		85.73	-17.0				
		86.72	-15.2				
		87.71	-15.1	-18.2	21.96	3.90	47.84
87.79	43.94		-13.5	-16.3	19.68	3.62	46.20
88.79	42.59		-12.1				
		89.69	-12.0	-14.5	17.42	3.27	45.08
89.79	41.81		-10.4	-12.7	15.37	2.92	44.37
90.79	41.44		-9.1				
		91.67	-9.1	-11.3	13.57	2.66	42.86
91.79	40.20		-9.7				
		92.69	-9.7	-11.7	14.05	2.77	42.81
92.79	40.04		-9.7				
		93.71	-9.5	-11.3	13.57	2.68	42.72
93.79	40.04		-7.8				
		94.67	-7.6	-9.1	10.95	2.21	41.47
94.79	39.26		-6.0				
		95.69	-5.8	-7.4	8.92	1.87	39.93
95.79	38.07		-4.7				
		96.71	-4.7	-6.0	7.22	1.59	37.84
96.79	36.25		-4.1				
		97.67	-4.0	-5.7	6.91	1.60	35.98
97.79	34.38		-3.5				
		98.69	-3.4	-4.8	5.83	1.38	35.04
98.79	33.65		-2.8				
		99.71	-2.8	-4.7	5.64	1.42	33.10
99.79	31.68		-2.2				
		100.67	-2.2	-4.0	4.81	1.27	31.60
100.79	30.33		-2.1	-3.6	4.31	1.15	31.17
101.79	30.02		-2.0	-3.4	4.13	1.20	28.62
102.79	27.42		-1.9	-2.8	3.40	1.08	26.12
103.79	25.03		-1.8	-2.4	2.95	0.99	24.73
104.79	23.73		-1.7	-2.7	3.26	1.15	23.59
105.79	22.44		-1.6				
		106.67	-2.8				
108.11	21.34		-2.8				
		108.71	-3.5				
110.63	22.44		-2.8				
		111.71	-2.2				
112.37	23.37		-1.6				
		112.67					
113.21	25.03						
113.93	28.25						
114.65	30.17						
		114.71					
115.73	33.86						
		116.69					
117.17	36.09						
118.13	38.74						
118.67	40.14						
119.39	42.95						

---

## 航空宇宙技術研究所資料453号

昭和56年12月発行

発行所 航空宇宙技術研究所  
東京都調布市深大寺町1880  
電話武蔵野三鷹(0422)47-5911(大代表) ㊦182  
印刷所 株式会社 共 進  
東京都杉並区久我山5-6-17

---

Printed in Japan