

NOAA 衛星 TOVS データによるオゾン全量の導出 Derivation of Total Ozone Amount from NOAA/TOVS Data

吉崎 徳人*
Yoshito Yoshizaki

Abstract

A regression method is applied to derive the total ozone amount from TOVS-HIRS/2 data of NOAA meteorological satellite received at Meteorological Satellite Center. Regression coefficients are determined against Dobson measurements at Sapporo, Tateno, Kagoshima and Naha. The total ozone amounts derived from TOVS data of NOAA-10 are analyzed for March 1988 - February 1990. Horizontal distribution of the total ozone amount around Japan are obtained and compared with the GRID-TOMS data of NIMBUS-7 satellite. Good agreements are seen between the ozone amounts derived from TOVS and TOMS.

1. はじめに

近年、フロン等によるオゾン層の破壊が憂慮され、オゾン層の保護をめぐる動きが国際的に活発となっている。日本では1988年5月に「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律」(オゾン層保護法)が公布され、翌1989年には気象庁にオゾン層解析室が設置された。

オゾン層の観測は、地上からの観測と衛星からの観測とに大きく分けることができる。

地上からのオゾン層観測は、ドブソン分光器によるオゾン全量観測およびオゾンゾンデによるオゾン鉛直分布観測が主となっている。日本では気象庁が4か所(札幌, 館野, 鹿児島, 那覇)で、これらの観測を続けている。また最近では、レーザーレーダーによるオゾ

ン鉛直分布の観測も開始されている。地上でのオゾン観測は高精度で行える反面、観測点付近の限られた場所の分布しか得られず、水平的な分布状態を知ることができない。一方、衛星によるオゾン観測は、精度的には地上観測より劣るものの、広域の分布を把握するには適している。

気象衛星センターで受信している極軌道気象衛星 NOAA (以下 NOAA 衛星) に搭載されている TOVS (TIROS Operational Vertical Sounder) と呼ばれる探査計のうち HIRS/2 (High Resolution Infrared Radiation Sounder の2世代目) には、オゾン吸収帯に感度を持つチャンネルがあり、オゾン全量の導出が可能である。日本付近のオゾン分布のリアルタイムモニターとして用いるため、NOAA 衛星 TOVS データからのオゾン全

*気象衛星センターシステム管理課

(1992年8月28日受領, 1992年9月6日受理)

量の導出を試みた。

2. 衛星からのオゾン観測

衛星に搭載されている主なオゾン観測機器の一覧を Table-1 に示す。Table-1 に示された衛星のうち、気象衛星センターで受信できるのは NOAA 衛星だけである。Nimbus-7 衛星の TOMS データから算出された全球のオゾン全量データは NASA から入手可能であるが、入手時期が観測後 1 か月半から数か月遅れになる。このため、解析には非常に有効であるがリアルタイム的な利用はできない。また、NOAA-9 および NOAA-11 に搭載されている SBUV/2 のデータは、NOAA 衛星の HRPT (High Resolution Picture Transmission) データから抽出可能であるが、キャリブレーション情報が直接配信されていないため、定量的なオゾン量の算出処理は実質的にできない。これに対して、NOAA 衛星に継続的に搭載されている HIRS/2 のデータは、HRPT データからの抽出およびキャリブレーションが気象衛星セ

ンターの TOVS 処理で行われている。HIRS/2 データからのオゾン全量導出は、赤外放射計を用いているため昼夜にかかわらずオゾン全量を算出できるが、オゾン吸収帯のチャンネルが 1 つしかないため算出精度の点で他の機器による算出に比べて劣る。しかし、HIRS/2 データは、現在の気象庁の観測システムでは、日本周辺のオゾン全量の水平分布をリアルタイムに知ることができる唯一のデータである。

気象衛星センターで受信できる NOAA 衛星の軌道の例を Figure-1 に示す。中心から放射状に描かれた線は、気象衛星センターの受信アンテナの位置から見た衛星の方位で、0°から360°まで10°ごとに示されている。中心から同心円状に描かれた線は、同じく衛星の仰角で、5°~80°まで5°ごとに示されている。

HIRS/2 のスキャン特性を Table-2 に示す。衛星直下点から軌道と直角に土約1100 kmの領域が HIRS/2 データの処理範囲である。

Table-1 Instruments of ozone measurements on board satellite (from Shitamichi 1990)

オゾン観測機器	TOMS	SBUV/2	SAGE II	HIRS/2
搭載衛星	NIMBUS-7	NOAA-9、11	ERBE	NOAA-7 ~
観測目的	オゾン全量	オゾンの鉛直分布	オゾンとエアロゾルの鉛直分布	大気温度・水蒸気の鉛直分布およびオゾン全量
観測波長	地表や大気によって散乱される太陽紫外線	後方(上方)に散乱される太陽紫外線	地球周辺大気を透過する太陽紫外線	地表や大気から射出される赤外線
観測領域	衛星の軌道と直角に 2,800 km	衛星直下点のみ		衛星の軌道と直角に 2,200 km
衛星直下点分解能	50 km	200 km		17 km

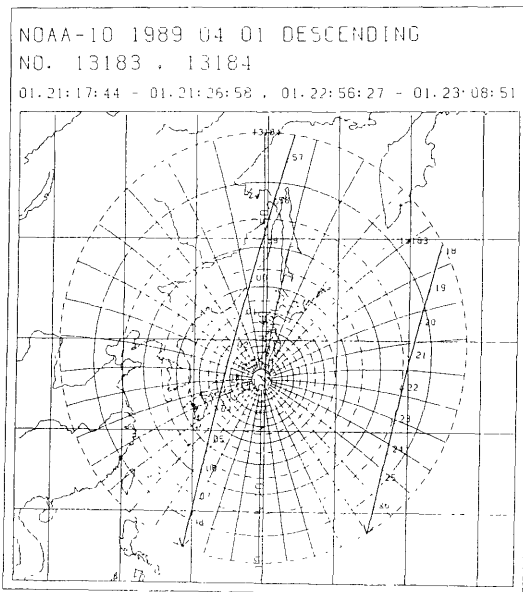


Figure-1 Coverage of the TOVS data processing system of MSC

HIRS/2のチャンネル特性を Table-3 に示す。本稿でのオゾン全量導出に用いるのは、成層圏に荷重関数のピーク位置があるチャンネル1, 2, 3と大気窓と呼ばれる $11\mu\text{m}$ 帯のチャンネル8, およびオゾン吸収帯の $9.6\mu\text{m}$ 帯のチャンネル9である。

Table-2 Characteristics of the scanning of HIRS/2 (from Aoki et al. 1983)

チャンネル数	赤外19、可視1
走査幅	$\pm 49.5^\circ$
スキャンタイム	6.4 sec
ステップ数	56
ステップ角	1.8°
ステップタイム	0.1 sec
視野角	1.25°

Table-3 Characteristics of HIRS/2 channels (from Aoki et al. 1983)

チャネル番号	中心波数 [cm^{-1}]	中心波長 [μm]	主要な吸収気体	荷重関数のピーク位置
1	668	15.00	CO_2	30 hPa
2	679	14.70	CO_2	60 hPa
3	691	14.50	CO_2	100 hPa
4	704	14.20	CO_2	400 hPa
5	716	14.00	CO_2	600 hPa
6	732	13.70	$\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$	800 hPa
7	748	13.40	$\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$	900 hPa
8	898	11.10	H_2O	地表
9	1,028	9.70	$\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}$	25 hPa
10	1,217	8.30	H_2O	900 hPa
11	1,364	7.30	H_2O	700 hPa
12	1,484	6.70	H_2O	500 hPa
13	2,190	4.57	N_2O	1,000 hPa
14	2,213	4.52	N_2O	950 hPa
15	2,240	4.46	$\text{CO}_2/\text{N}_2\text{O}$	700 hPa
16	2,276	4.40	$\text{CO}_2/\text{N}_2\text{O}$	400 hPa
17	2,361	4.24	CO_2	5 hPa
18	2,512	4.00	$\text{N}_2/\text{CO}_2/\text{N}_2\text{O}$	地表
19	2,671	3.70	$\text{N}_2\text{O}/\text{H}_2\text{O}$	地表
20	14,367	0.70	H_2O	地表

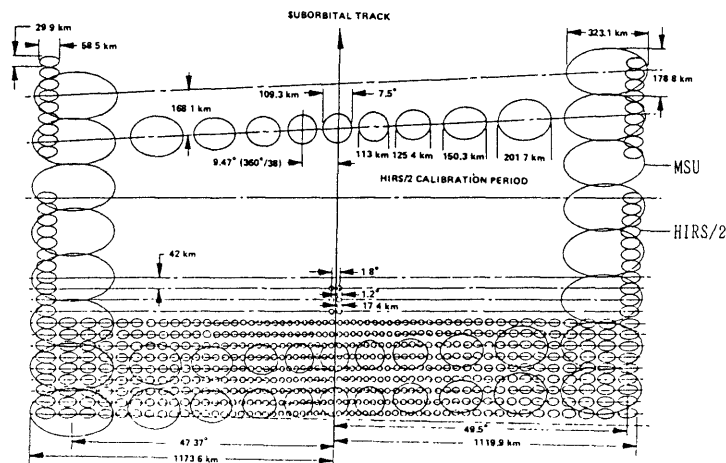


Figure-2 Footprints of HIRS/2 and MSU (from Aoki et al. 1983)

HIRS/2 の走査パターンおよび瞬時視野の大きさを Figure-2 に示す。TOVS 導出オゾン全量は HIRS/2 の 1 スポットごとについて算出する。

3. オゾン全量導出のアリゴリズム

① F.Lefèvre et al. (1991)の方法

F.Lefèvre et al. (1991)は、次のように HIRS/2 データからオゾン全量を導出した (Figure-3 参照)。

衛星で観測される放射量は放射伝達式を用いて(1)式で表せる。

$$R(\nu) = B(\nu, Ts) \tau(\nu, Ps) + \int_{Ps}^0 B(\nu, T(p)) \frac{\partial \tau(\nu, P)}{\partial P} dp \dots (1)$$

$R(\nu)$: 大気上端 (衛星) で観測される放射量 (波数 ν)

ν : 波数

T : 温度

Ts : 地表面温度

P : 気圧

Ps : 地表面気圧

$B(\nu, T)$: プランク関数 (波数 ν , 温度 T)

$\tau(\nu, P)$: 気圧 P のレベルから大気上端までの透過率 (波数 ν)

$\partial \tau(\nu, P) / \partial P$: 荷重関数

(1)式の右辺第1項は、地表面から放射されたのち地表面と衛星との間の大気で減衰して衛星に到達する放射量である (地表面の射出率は1として省略)。(1)式の右辺第2項は、大気自体からの放射がその大気と衛星との間の大気で減衰して衛星に到達する放射量の総和

である。

9.6 μ m 帯の HIRS/2 チャンネル9の放射伝達式は(2)式で表せる。

$$R_9 = B_9(Ts) \tau_{9,s} + \int_{(s)}^0 B_9(T) d\tau_9 \dots (2)$$

ここで、 $\tau_{9,s}$ は地表面から大気上端までの透過率 (チャンネル9) を表す。

この波長帯では、基本的にオゾンと水蒸気が大気の吸収に寄与すると考えてよいことから、 τ_9 は(3)式で表せる。

$$\tau_9 = \tau_{9,H2O} \cdot \tau_{9,O3} \dots (3)$$

$\tau_{9,H2O}$: 水蒸気に対する透過率

$\tau_{9,O3}$: オゾンに対する透過率

(2)式を簡略化するため、水蒸気は地表面から400hPa 面までだけに分布し、オゾンは400

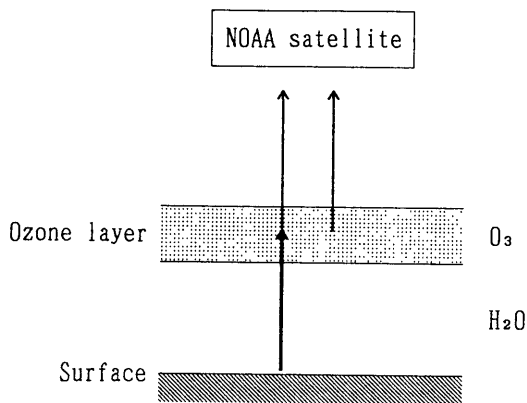


Figure-3 An illustration for the radiance measured in HIRS/2 channel 9

hPa 面から大気上端までだけに分布すると仮定する (Figure-3 参照)。ここで、 $\tau_{9,O3}$ および $\tau_{9,H2O}$ について、それぞれ地表面から400hPa 面までと400hPa 面から大気上端までに存在するオゾンおよび水蒸気による透過率をわけて (添字 low および high を付す) それぞれの積で表し、

$$\tau_{9, O_3} = \tau_{9, O_3 (low)} \cdot \tau_{9, O_3 (high)} \dots\dots\dots (4a)$$

$$\tau_{9, H_2O} = \tau_{9, H_2O (low)} \cdot \tau_{9, H_2O (high)} \dots\dots\dots (4b)$$

とする。仮定により、 $\tau_{9, O_3 (low)} = 1$ および $\tau_{9, H_2O (high)} = 1$ であるから、

$$\tau_{9, O_3} = \tau_{9, O_3 (high)} \dots\dots\dots (5a)$$

$$\tau_{9, H_2O} = \tau_{9, H_2O (low)} \dots\dots\dots (5b)$$

となる。(3)および(5a), (5b)式から(2)式は次のように表せる。

$$R_9 = [B_9(T_s) \tau_{9, H_2O, s} + \int_{(S)}^{(400hPa)} B_9(T) d \tau_{9, H_2O}] \tau_{9, O_3 (high)} + \int_{(400hPa)}^{\circ} B_9(T) d \tau_{9, O_3} \dots\dots\dots (6)$$

(6)式の [] 内は、大気中の吸収成分を水蒸気だけとしたときに大気上端(衛星)で観測される放射量である。水蒸気の吸収特性は、11.1 μ m帯と9.6 μ m帯とはほとんど同じである。したがって、[]内の値は11.1 μ m帯のチャンネル8で観測される放射量で代用することが可能で、(7)式を得る。

$$R_9 = B_9(T_8) \tau_{9, O_3 (high)} + \int_{(400hPa)}^{\circ} B_9(T) d \tau_{9, O_3} \dots\dots\dots (7)$$

T_8 : チャンネル8で観測される輝度温度

$$T_8 = B_8^{-1}(R_8) \dots\dots\dots (8)$$

ここで、オゾン層の平均温度として T_{O_3} を定義する。 T_{O_3} は、400hPa面と大気上端の間を T_{O_3} で等温としたとき、9.6 μ m帯で実際の大气と同じ放射量になる温度である。このとき、(7)式は(9)式で表せる。

$$R_9 = B_9(T_8) \tau_{9, O_3 (high)} + (1 - \tau_{9, O_3 (high)}) B_9(T_{O_3}) \dots\dots\dots (9)$$

したがって、オゾン層の透過率として(10)式を得る。

$$\tau_{9, O_3 (high)} = \left\{ R_9 - B_9(T_{O_3}) \right\} / \left\{ B_9(T_8) - B_9(T_{O_3}) \right\} \dots\dots\dots (10)$$

F.Lefevre et al. (1991) は、気温、オゾンおよび水蒸気の鉛直分布(実測値およびモデル値)から T_{O_3} を理論的に算出し、この T_{O_3} を対応するHIRS/2の観測データと(11)式の回帰式で関連づける手法を用いた。

$$T_{O_3} = \alpha T_2 + \beta T_6 + \gamma T_8 + \delta T_9 + \varepsilon \dots\dots\dots (11)$$

$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon$: 係数

T_2, T_6, T_8, T_9 : チャンネル2, 6, 8, 9の輝度温度

(11)式で算出した T_{O_3} から(10)式により $\tau_{9, O_3 (high)}$ を計算することができ、 $-\ln(\tau_{9, O_3 (high)})$ はオゾン層の光学的厚さでオゾンの量に比例する値となる。また、F.Lefevre et al. (1991)は、 T_{O_3} の値によって $\tau_{9, O_3 (high)}$ とオゾン全量との関係が若干変化することを指摘し、 T_{O_3} の値による補正項を加えた(12)式でオゾン全量を算出した。

$$\Omega = C_0 - C_1 \ln \tau_{9, O_3 (high)} + C_2 T_{O_3} \dots\dots\dots (12)$$

Ω : オゾン全量

C_i : 係数 ($i = 0, 1, 2$)

② 回帰法によるオゾン全量算出

F.Lefevre et al. (1991)の方法では、 T_{O_3} を観測データから算出する手法が用いられたが、ここでは T_{O_3} を算出する代わりに、HIRS/2チャンネル1, 2, 3(成層圏に荷重関数のピークを持つ)で観測される輝度温度 T_1, T_2, T_3 を直接(10)式に適用する方法で、回帰的にオゾン全量を算出することを試みた。これは、これらのチャンネルが成層圏に荷重関数のピークを持っており、基本的には T_{O_3} の情報を持っていると考えられるためである。回帰式には、以下の式を用いた。

$$\Omega = C_0 + \sum_{i=1}^3 C_i (-\ln \tau_i) \cos \theta \quad \dots(13)$$

$$\tau_i = \left\{ R_9 - B_9 (T_i) \right\} / \left\{ B_9 (T_8) - B_9 (T_i) \right\} \quad \dots\dots\dots(14)$$

C_i : 回帰係数
 θ : 衛星天頂角

$\cos \theta$ は、衛星天頂角による光路長の変化を補正するためである。 C_0, C_1, C_2, C_3 は回帰係数で、ドブソン分光器による観測値と NOAA 衛星 TOVS データとの同時観測データから決定する。

③ 回帰係数の決定

同時観測値データセットの作成に使用したデータ

- (a) 札幌, 館野, 鹿児島, 那覇のドブソン分光器によるオゾン全量観測値。ただし、信頼性の高い太陽直射光観測値。
- (b) 気象衛星センターで受信, 放射量および輝度温度に変換 (文献: NOAA 1988) した NOAA-10 の HIRS/2 データ。
- (c) 期間は、気象衛星センターで NOAA-10 を受信していた 1988 年 3 月から 1990 年 2 月まで。

同時観測としての条件

- (a) 地上観測地点から 50km 以内の観測データ
- (b) 観測時刻と差が 60 分以内
- (c) $T_9 - T_2 > 45K$

(c) は、同時観測としての条件 (a) および (b) の満たす 460 個のデータのうち 99% のデータが $T_8 - T_2 > 45K$ であったことから設定した条件である。この同時観測データセットから決定した回帰係数によりオ

ゾン全量を算出するので、オゾン全量を算出する際にも、 $T_8 - T_2 > 45K$ である条件を設ける。 T_8 と T_2 の温度差 45K は、非常に大雑把な言い方をすれば、標準大気で 600 hPa と成層圏との温度差に相当する。また、上層雲があるときはオゾン層の透過率の計算に大きな誤差を生じる可能性があるが、上層雲があると T_8 の値が小さくなるので (13) 式によるオゾン全量の算出を制限することができる。

以上の条件を満たす同時観測値データセットから回帰係数 C_0, C_1, C_2, C_3 を決定した (Table-4)。同データセットの TOVS データから算出したオゾン全量と

Table-4 Regression coefficients

C_0	1 5 2. 7 7
C_1	1 6 6. 4 4
C_2	1 5 4 5. 4 0
C_3	-1 4 6 4. 5 0

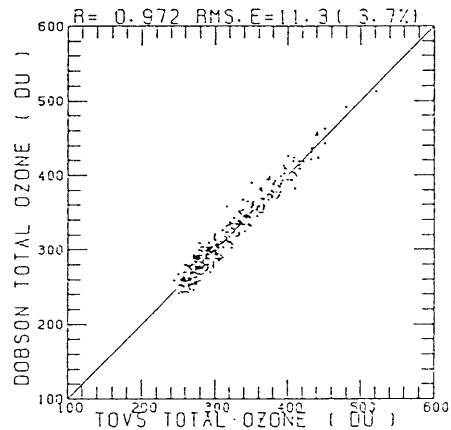


Figure-4 Comparison of O_3 -TOVS and O_3 -DOBSON in the regression data set

示した平均誤差の時間変化を地点別にわけて示したものである。館野、鹿児島、那覇では1年を周期とする変化が明瞭で、館野の位相を基準とすると、鹿児島は約13日、那覇は約27日の位相の遅れがある。札幌についてはこの周期的な変化は不明瞭である。Figure-7は同時観測値データセットのデータではなく、1989年4月上旬に受信されたNOAA-10のTOVSデータについて算出したオゾン全量と、ドブソン分光器観測値とを比較したものである。ドブソン分光器観測値は、この期間の全ての観測値をプロットし、各地点別に折れ線で示した。TOVS導出オゾン全量は、ドブソン分光器観測地点と50km以内で算出された値をプロットした。オゾン全量の変化傾向は似ているが、全体的にTOVS導出オゾン全量はドブソン分光器観測値に対して負のバイアス

がある。Figure-5をみると、この期間の同時観測値データセットのTOVS導出オゾン全量はドブソン分光器観測値に対して負のバイアスがある。

バイアス誤差の周期変動の要因として、オゾン層の重心位置の変動やオゾン層の温度の変動が考えられる。日本付近ではジェット気流を挟んで熱帯圏界面の領域と寒帯圏界面の領域というオゾン層の重心位置が異なる2つの領域が存在し、1年を周期としてその領域が変動する。また、(13)式には、F.Lefèvre et al. (1991) が用いた(12)式の T_{O_3} の値による補正項がないため、オゾン層の温度によって誤差が生じている可能性がある。

② NIMBUS-7衛星のTOMSデータとの比較

TOVS導出オゾン全量の水平分布についての評価にはNIMBUS-7衛星のGRID-TOMSデータを用いた。同データは現在では最も信頼できるオゾン全量の水平分布のデータである。TOVS導出オゾン全量は、TOMSデータとの整合を図るため、昼間のデータ(00UTC帯)だけを用いた。GRID-TOMSデータには、気象庁オゾン層解析室から提供された補正値を用い補正を行った。TOVS導出オゾン全量を1°の緯経度格子について算出し、GRID-TOMSデータも1°の緯経度格子に分割した。

1989年1月2日、4月2日、7月2日、10月2日における各格子点についての相関図をそれぞれFigure-8 a, 8 b, 8 c, 8 dに、分布図をそれぞれFigure-9 a, 9 b, 9 c, 9 dに示す。TOVS導出オゾン全量をTOMS導出オゾン全量とでは、観測時間

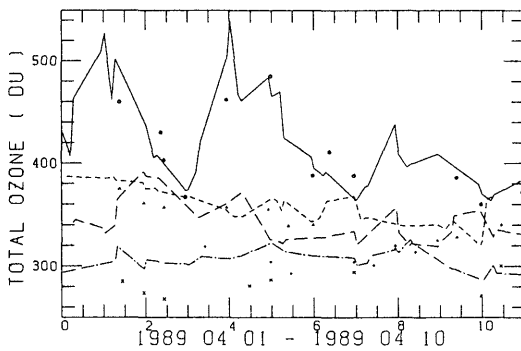
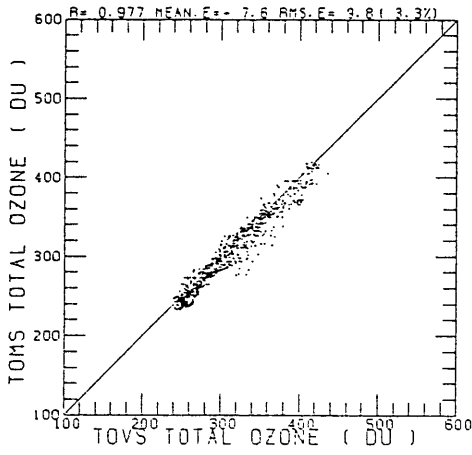
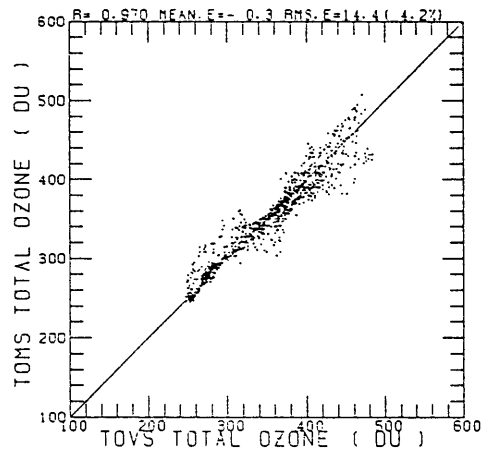


Figure-7 Variation of O_3 -TOVS and O_3 -DOBUSON

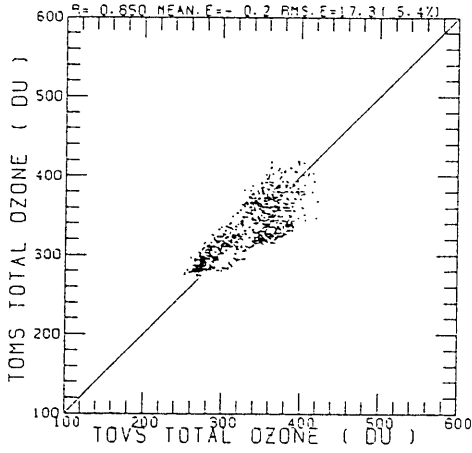
(Sapporo	————	DOBUSON	○	TOVS)
(Tateno	DOBUSON	△	TOVS)
(Kagoshima	- - - -	DOBUSON	+	TOVS)
(Naha	- · - ·	DOBUSON	×	TOVS)



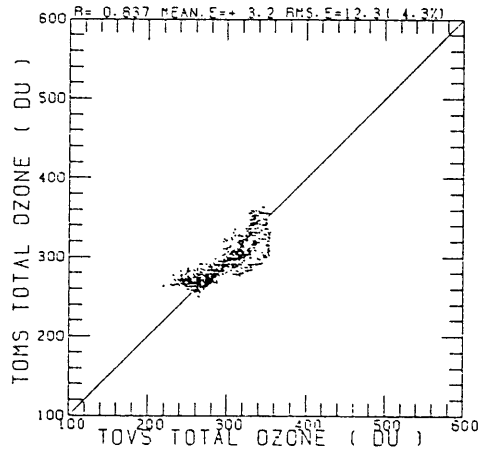
a. JAN 2 1989



b. APR 2 1989



c. JUL 2 1989



d. OCT 2 1989

Figure-8 Comparison of O₃-TOVS and O₃-TOMS at grid points

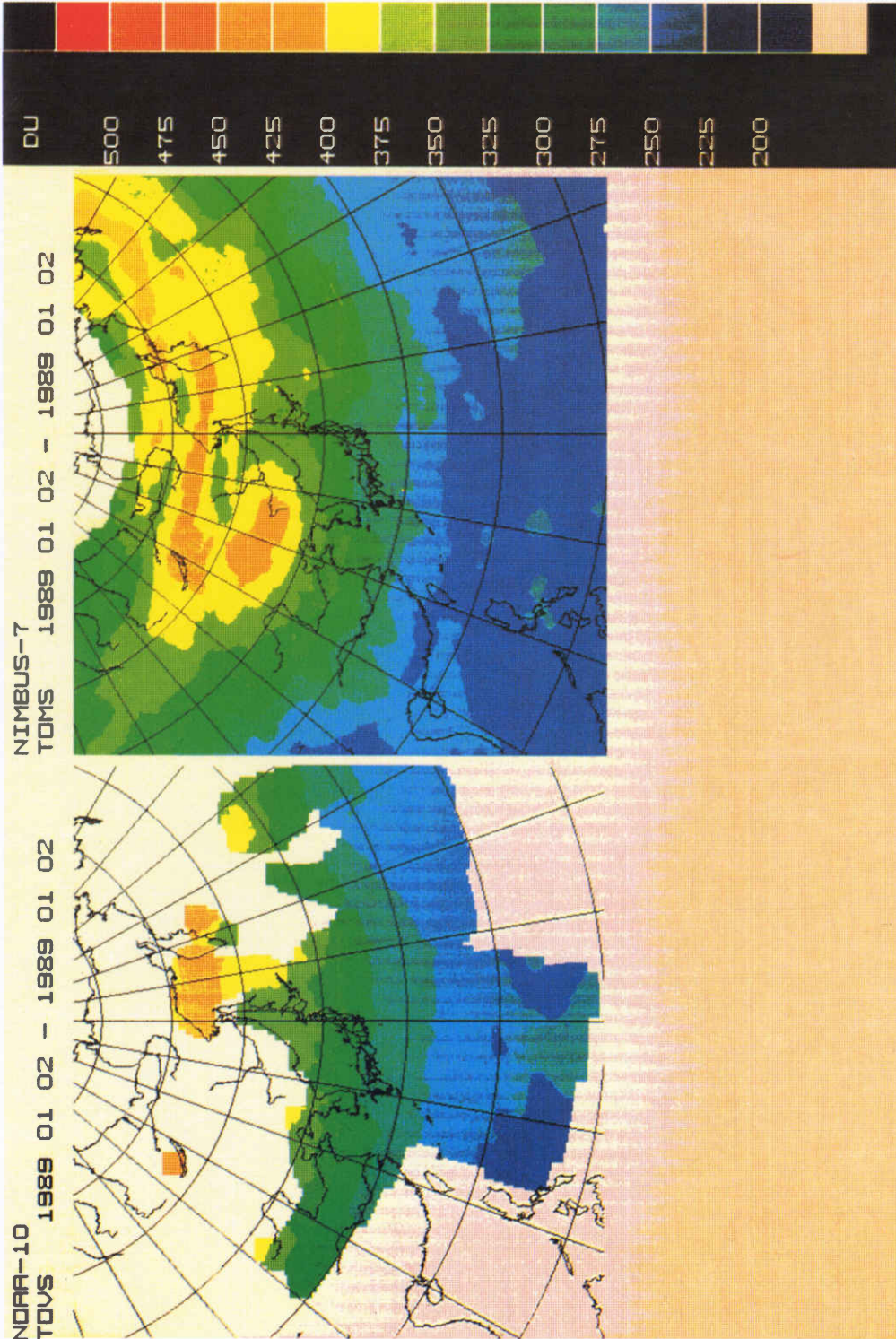


Figure-9a Comparison of the horizontal distribution of O₃-TOMS and O₃-TOMS (JAN 2 1989)

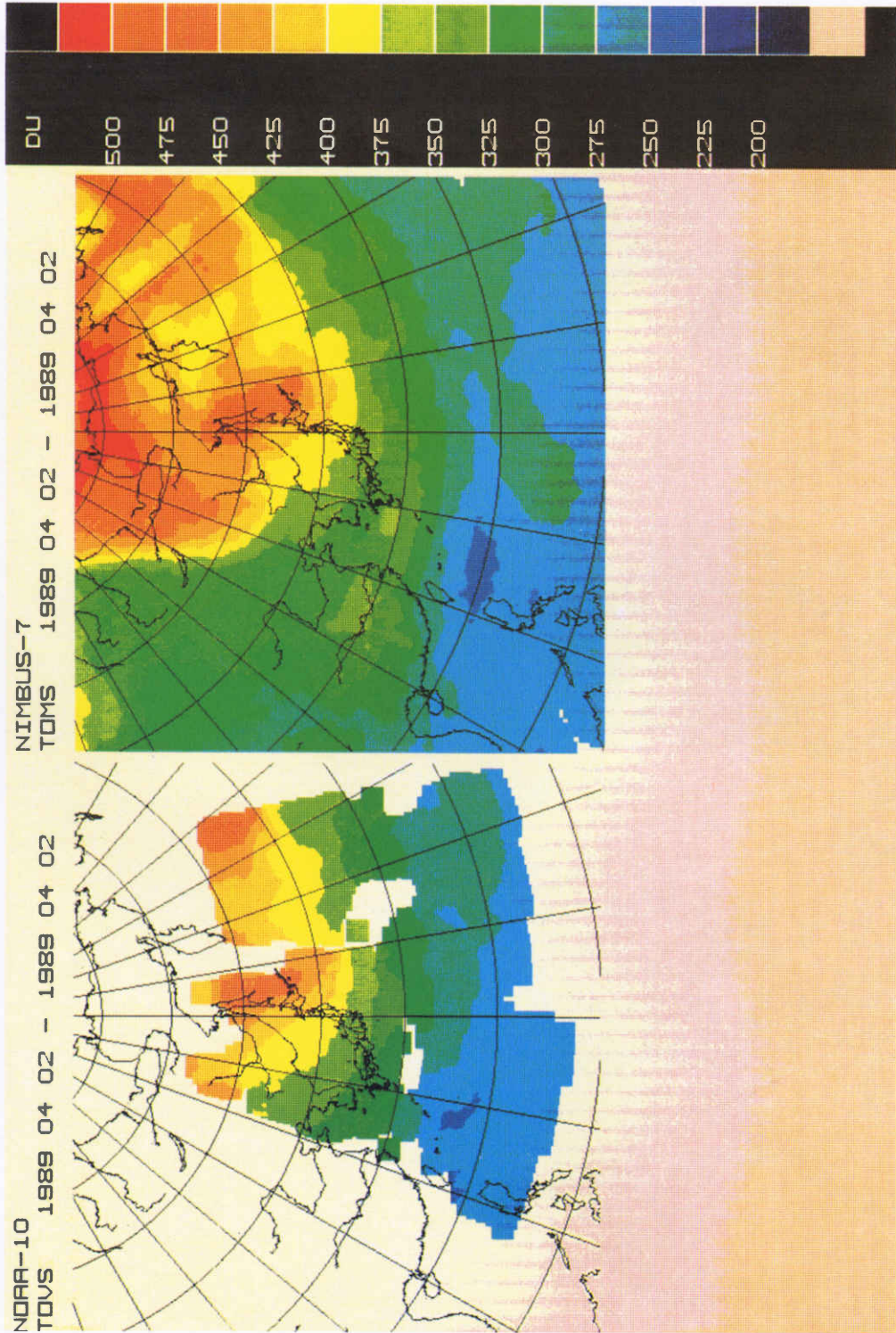


Figure-9b Comparison of the horizontal distribution of O₃-TOVS and O₃-TOMS (APR 2 1989)

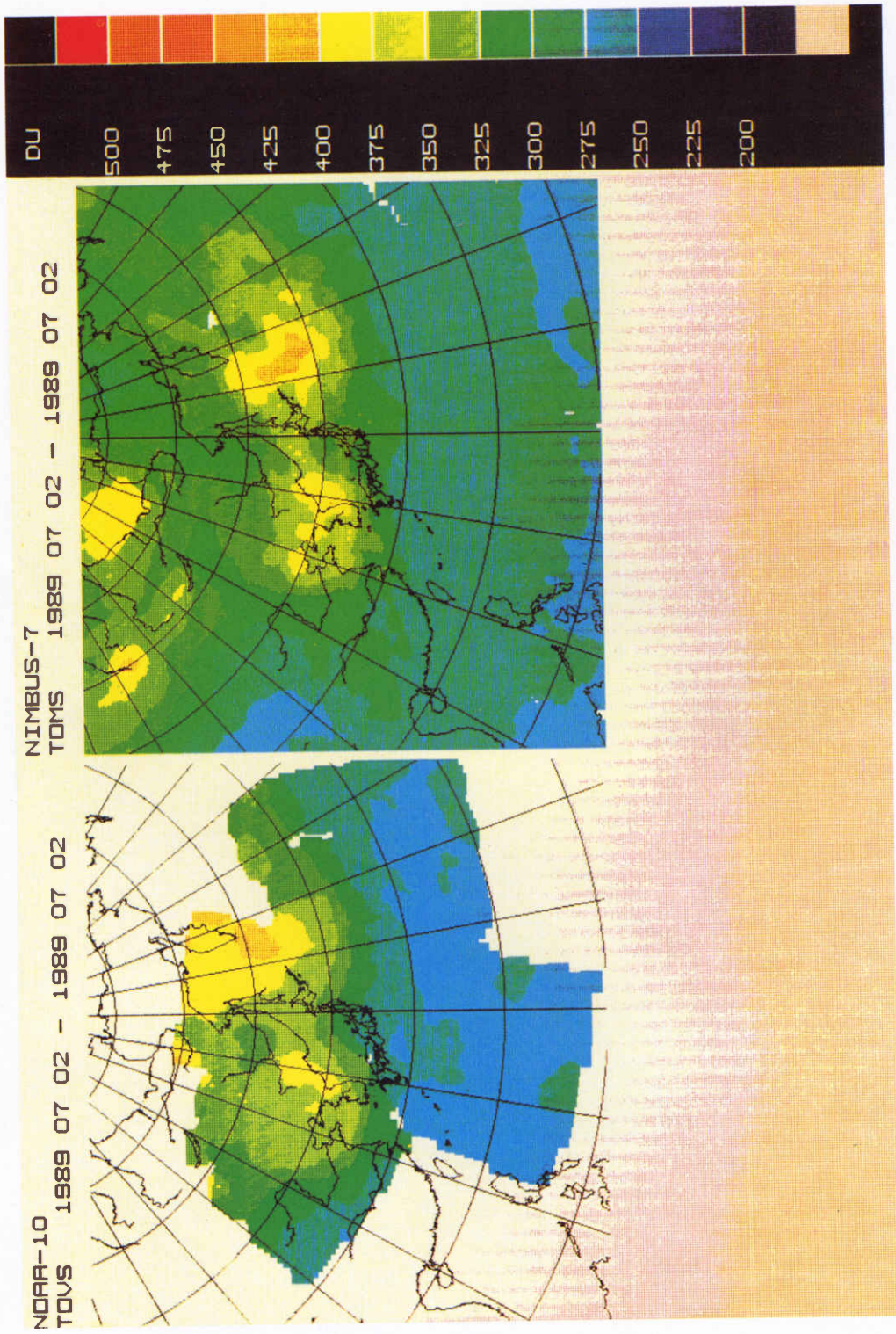


Figure-9c Comparison of the horizontal distribution of O₃-TOMS and O₃-TOMS (JUL 2 1989)

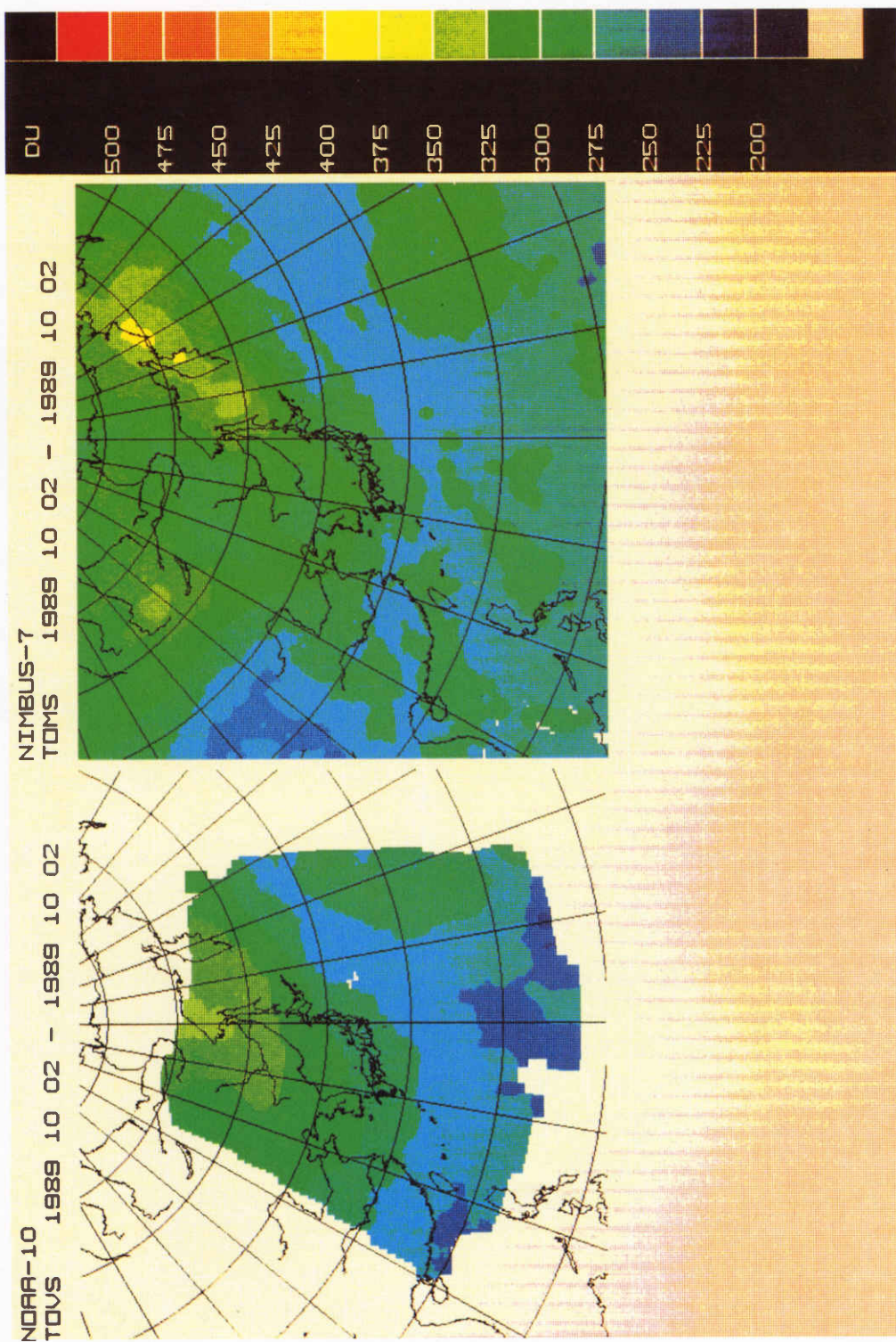


Figure-9d Comparison of the horizontal distribution of O₃-TOVS and O₃-TOMS (OCT 2 1989)

および赤外線データからの算出と紫外線データからの算出という違いがあるが、TOMS 導出オゾン全量に対する TOVS 導出オゾン全量の平均 2 乗誤差は 5 % 程度であり、ほぼ似たパターンが得られた。

Figure-9 a をみると、大陸の高緯度の領域で TOVS 導出オゾン全量が算出されていない。この時期この領域では地上付近の気温が極端に低くなり、 $T_8 - T_2$ の値が大きい値の 45K 以下になっているためである。高い雲が存在して $T_8 - T_2$ の値が小さくなっているのか、あるいは高い雲は存在しないが T_8 そのものが小さいのかを判別することができれば、後者の場合についてはオゾン全量が算出できる可能性がある。大陸上のドブソン分光器観測値の入手も望まれる。

5. おわりに

(13)式による TOVS 導出オゾン全量は、バイアス誤差の周期変動、冬期の大陸上での算出など改良しなければならない点があつかあり、TOMS 導出オゾン全量のように解析的に使用するにはまだ精度の点で不足である。しかし、リアルタイム的に日本付近の大まかなオゾン全量の分布状況を把握するには有効であると思われる。今後、(13)式による TOVS 導出オゾン全量の改良の他に、F.Lefèvre et al. (1991) が用いた T_{O_3} を算出する手法でのオゾン全量算出を試みたい。

6. 謝辞

この報告をまとめるにあたって貴重な助言や資料の提供をいただいた国立極地研究所の山内恭助教授、気象研究所物理気

象研究部の牧野行雄室長、システム管理課の佐々木秀行調査官、竹内義明氏(現科学技術庁)、気象庁オゾン層解析室の方々に感謝の意を表す。

7. 参考文献

- 青木忠生, 中島忍, 高山豊治 1983: TOVS 処理システムの開発, 気象衛星センター技術報告特別号, 1-156
- 赤木万哲 1990: NIMBUS-7 号衛星の TOMS 資料について, 測候時報 57, 4, 157-166
- 赤木万哲 1991: オゾン層の季節変動, 気象 35, 4, 40-42
- 気象庁 1990: オゾン観測年報第 1 号 (平成元年観測成果)
- 気象庁 1991: オゾン観測年報第 2 号 (平成 2 年観測成果)
- 気象庁 1991: オゾン観測指針 (オゾン全量・反転観測編)
- 迫田優一 1991: オゾン層の季節変動, 気象 35, 8, 38-41
- 下道正則 1990: オゾン層の観測, 天気 37, 1, 20-25
- 福西浩, 亀掛川幸浩, 岡野章一, 川村宏, 鳥羽良明, 山内恭 1992: NOAA 衛星 TOVS データによる成層圏オゾン変動に関する研究, 衛星による地球環境の解明, 174-178
- 松原 司 1990: オゾン層の季節変動, 気象 34, 12, 16-19
- 山内恭, 岩品伊佐雄, 瀬尾洋一 1984: TIROS/NOAA 衛星の TOVS による南極大気オゾン全量の導出, 南極資料第 81 号別冊, 9-15
- AEROLOGICAL DATA OF JAPAN

- 1989 : ATOMOSPHERIC OZONE
(SONDE) 1988, JMA
ROLOGY, VOL.23, 308-316
- F.Lefèvre, D.Cariolle, S.Muller, and F.
Karcher 1991 : Total ozone from the
TIROS Operational Vertical Sounder
During the Formation of the 1987
"Ozone Hole", JOURNAL OF GEO-
PHYSICAL RESEARCH, VOL.96,
NO.D7, 12.893-12.911
- James H.Lienesch 1988 : Evaluation of
Improved Set of Predictors for Deri-
vation of Total Ozone from TOVS
Measurements, JOURNAL OF
ATMOSPHERIC TECHNOLOGY,
VOL.5, NO.5, 625-630
- James H.Lienesch and Prabhat K.K.
Pandey 1985 : The Use of TOMS
Data in Evaluating and Improving
the Total Ozone from TOVS Mea-
surements, NOAA Technical Report
NESDIS 23, 1-18
- NASA 1986 : GRIDTOMS TAPE SPECI-
FICATIONS, NIMBUS OBSERVA-
TION PROCESSING SYSTEM
(NOPS)
- NOAA 1988 : DATA EXTRACTION
AND CALIBRATION OF TIROS-
N/NOAA RADIOMETERS, NOAA
Technical Memorandum NESS 107-
Rev.1
- Walter G.Planet, David S.Crosby,
James H.Lienesch, and Michael L.
Hill 1983 : Determination of Total
Ozone Amount from TIROS Radi-
ance Measurments, JOURNAL OF
CLIMATE AND APPLIED METEO-