

33. 大気化学物質の全球輸送・反応・沈着モデル (GCTM) の作成と それを用いたバイオマス燃焼排出源の影響評価

Development of Global scale Chemical Transport Model (GCTM) and Its Application to the Transport of Biomass Burning Emissions

北田敏廣[#]、原 智子[#]、西沢匡人^{*}、倉田学児[#]

KITADA, Toshihiro, HARA, Tomoko, NISHIZAWA, Masato, and KURATA, Gakuji

ABSTRACT: Global chemical transport model (GCTM) has been developed and applied to see effects of biomass burning sources on atmospheric chemical environment in southern hemisphere. The model includes processes of advection, diffusion, chemistry, sub-grid scale cumulus convection, and wet- and dry-depositions. The model's chemistry part includes 40 species and 97 chemical reactions. Simulations were performed for about one month in September and October, 1994, when strong biomass burning occurred under the climatic condition of ENSO. We focused especially on ozone formation over Equatorial Asia, and evaluated relative importance of its local production from the sources of anthropogenic and biomass burning, and soil NO_x emissions, and also long range transport from mid-latitudinal southern hemisphere. The results could successfully explain the reason of the formation of complex ozone vertical structure observed over Java Island around 7.5S and 112.6E.

KEYWORDS: GCTM, biomass burning, air pollution, southern hemisphere, numerical simulation.

1. はじめに

エルニーニョ現象が見られる年、インドネシア、オーストラリア北部の乾季の度合いは平年よりも激しく、当該地域ではバイオマス火災によって多くの大気汚染物質が放出される。1994年9-10月もそのような年であった。筆者らは、このバイオマス火災による対流圏大気化学への影響を推定するべく、これまで東アジア-西太平洋域(80E-180E, 19S-60N)を対象とした、当該期間のCTMシミュレーションを行ってきた。とくにジャワ島の Watukosek (7.5S, 112.6E) でオゾン・ゾンデによる観測が行われていたことから(Fujiwara et al. Geophys. Res. Lett., 1999)¹⁾、この観測との比較を通じてシミュレーションによる当該オゾンの起源推定を試みてきた。しかしながら、オゾン分布に見られる対流圏中層6-7kmでの極大値の再現はむづかしく、領域外からの寄与を考えないと説明できないと考えられた。本報告は、筆者らの開発した全球化学輸送モデルにより、同じ期間の全球シミュレーションを行い、このオゾンの起源を推定したものである。

2. GCTM(地球規模化学輸送モデル)の概要

全球の大気化学物質輸送・反応モデル(Global scale Chemical Transport Model)を作成した。以前に発表した部分域モデルを全球に拡張したものである。水平方向格子サイズは、それぞれ2.5度、鉛直方向には地表から10hPa(約30km)までを17格子点でカバーしている。考慮した化学種は40種(うち輸送化学種が25)、化学反応は97である。成層圏でのオゾン生成の簡単なシステムを含む。モデル中に含まれる14の

[#] 豊橋技術科学大学エコロジー工学系、Dept. Ecological Engineering, Toyohashi Univ. of Technology.

^{*} 日本原子力研究所、Japan Atomic Energy Research Institute.

光分解反応速度係数について、Phodis モデル²⁾の導入により、エアロゾル層、雲層の鉛直分布の影響が反映されるようになっている。その他、移流・拡散・サブグリッド積雲対流・乾性/湿性沈着の各プロセスをモデルは含む。

排出源として、化石燃料燃焼を含む人為排出、航空機による上空排出、土壌、バイオマス火災を含む。

3. シミュレーションケース、期間

計算は、1994年9月1日00GMTから、同年10月6日00GMTまでの35日間である。流れ場等基本的な気象場は、1日2回(00, 12GMT)の頻度を持つECMWFのBasic Level III "Consolidated data set"(2.5度格子、鉛直17層)である。他に、1日1回の雲量、降水量等も用いている。

計算のタイムステップは、輸送30分、化学反応(最大)12秒である。

シミュレーションケースは、考慮した排出源等によって場合分けしているが、その主要なものをTable 1に示す。この中で、CASE 132は標準ケース、CASE 201はバイオマス火災のみなしのケース、CASE 30はすべての排出源がない場合、CASE 136は排出源条件等すべてCASE 132と同じであるが化学反応項のみ含まないケースである。また、"AUSMIN2R"は、その他の条件はCASE 132とほぼ同じであって、領域がFig.1中の部分域(太い実線で囲んだ領域)である場合の(以前に行った)ケースを表す。

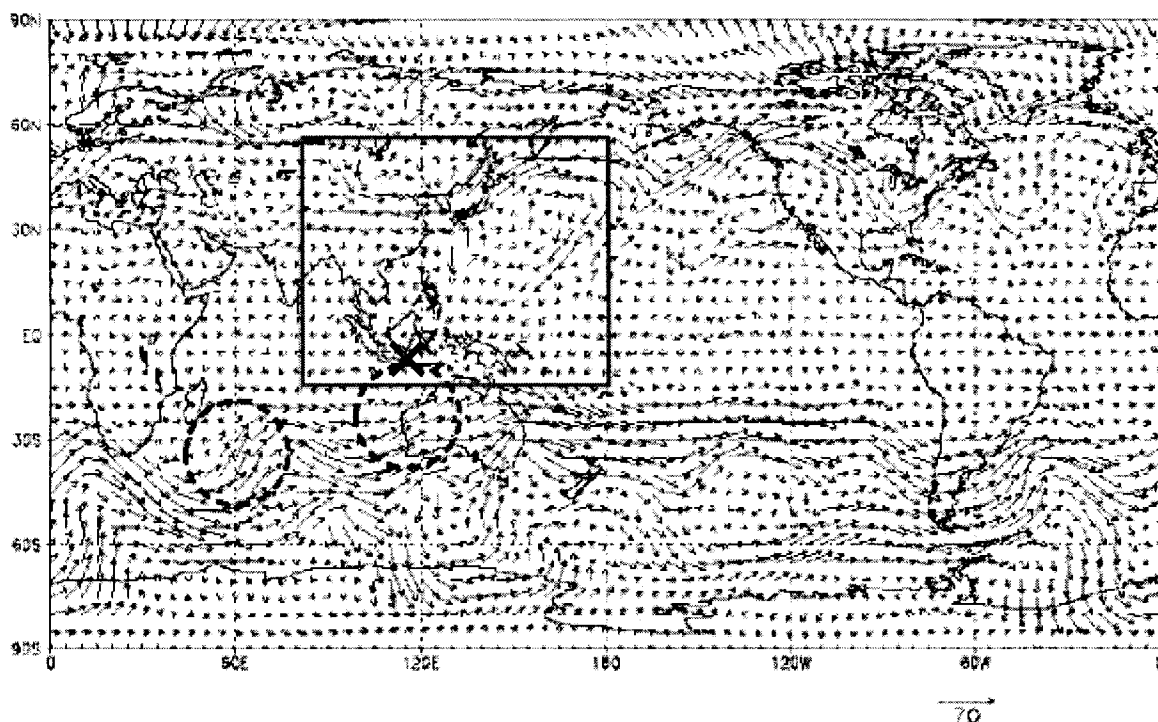


Fig.1. 全球計算領域。高度8kmでの流れ場(00GMT, 27Sept94)を示す。実線枠内は、Table 2中の'AUSMIN2R'の計算領域を示す。ワトコセ(Watukosek, Java)の位置がXで示されている。また、破線サークルは、低緯度への物質輸送に寄与する注目の高気圧性流れを示す。

4. ワトコセ(Watukosek, Java; 7.5S, 112.6E) オゾン分布その起源

インドネシアのジャワ島東部ワトコセでオゾンゾンデによる鉛直分布が観測されている。データの長期的な特徴等はFujiwaraらに述べられている。ここでは、ENSO(El Nino and Southern Oscillation)の特徴が顕著になった1994年の後半(9月以降)のデータ(9月27日)について、Fig.2に観測結果(Fujiwaraら)を計算結果(本研究)とともに示す。前回(第8回地球環境シンポ)も述べたように、ワトコセ(Fig.1の

X 印) は、高気圧支配の沈降流の下で晴天が続き、下層の大気境界層では、日中、混合層の発達が期待でき

Table 1. Simulation cases

	All emission sources except biomass burning	Biomass burning (EDGAR)	Biomass burning (Australia)
CASE 132 (standard case)	○	○ ^{\$}	○ (Volume type [#])
CASE 201 (no-biomass emissions)	○		
CASE 30 (no emissions)			
CASE 136 (no chemistry)	○	○ ^{\$}	○
AUSMIN2R (limited area case; see Fig.1 for calculation domain)	○	○	○ (Volume type [#])

* All emission sources except for those of biomass fire in specific areas were expressed with a flux form at the earth's surface.

Emissions were given by uniform volume source extending from the surface to the height of about 2.5km, i.e., initial plume rise associated with biomass burning was assumed.

\$ Biomass burning emissions in Java island, a part of New Guinea, etc. were given by a volume source (see Fig. 2).

AUSMIN2R: a simulation with limited area (see Fig. 1).

るが、上空の自由対流圏は安定成層であって、上下の気塊間の混合は抑えられ、高度によって風向が異なる。

Fig.2中、オープンサークル(○, OBS)が観測値であり、下層(4km以下)と中層(6-7km)に極大値を持つ。一方、黒丸(●)が、上述の東アジア-西太平洋の部分領域に対するシミュレーション結果(AUSMIN2R)である。不十分ながら対流圏下層にはバイオマス火災から放出された前駆化学物質から反応生成したオゾン濃度の極大が見られるが、中層のオゾンはまったく再現されていない。

対照的に、CASE 132(▲) が全球計算で全排出源を含む場合であるが、これらは中層でのオゾンの極値をほぼ再現している。また、CASE 201(■)はバイオマス火災の排出のみをOFFにした場合、同じくCASE 30(△)は全排出をなくした場合(ただし、いずれも化学反応はON)を示す。これらの比較からCASE 201と 30 がほとんど同じ結果を示すこと、したがって、CASE 132, とこれらケースのギャップはほとんどがバイオマス火災を起源とする生成オゾンであることがわかる。実際、オゾンの反応生成のポテンシャルを示すと考えられる一酸化炭素(CO)の南半球における排出源は、シミュレーション期間中、ほとんどがバイオマス火災であることが示唆された(CAE 132, 201, 30のCOに関する計算結果を比較)。ところで、オゾンについて、全ての排出源を含まないCASE 30でも高度6-7kmのオゾン極値は現れており、考慮した排出源からシミュレーション期間(9月1日—10月5日)に排出された化学物質が

ら反応生成する以外の理由を求める必要がある。

図中CASE 136は、CASE 132と他の条件は同じで、化学反応なしの場合を示す。この場合、オゾンのように反応生成するだけで直接の排出源を持たない物質では、初期分布から単純に輸送プロセスのみで、分布が変化することを意味し、例えば、CASE 30との違いは、化学反応を考慮しているかないかだけとなる。ところで、Fig.2はCASE 136(□)では、オゾン濃度は増加せず観測値よりはるかに少ない値であることを示唆する。したがって、中層のオゾン極値は対流圏で(この計算の初期値から)反応生成したバックグラウンド的なものであることを示す。ただし、部分域のシミュレーションAUSMIN2Rでは、この中層の極値がないわけであるから、熱帯域の対流圏中層大気中で生成したものではない。

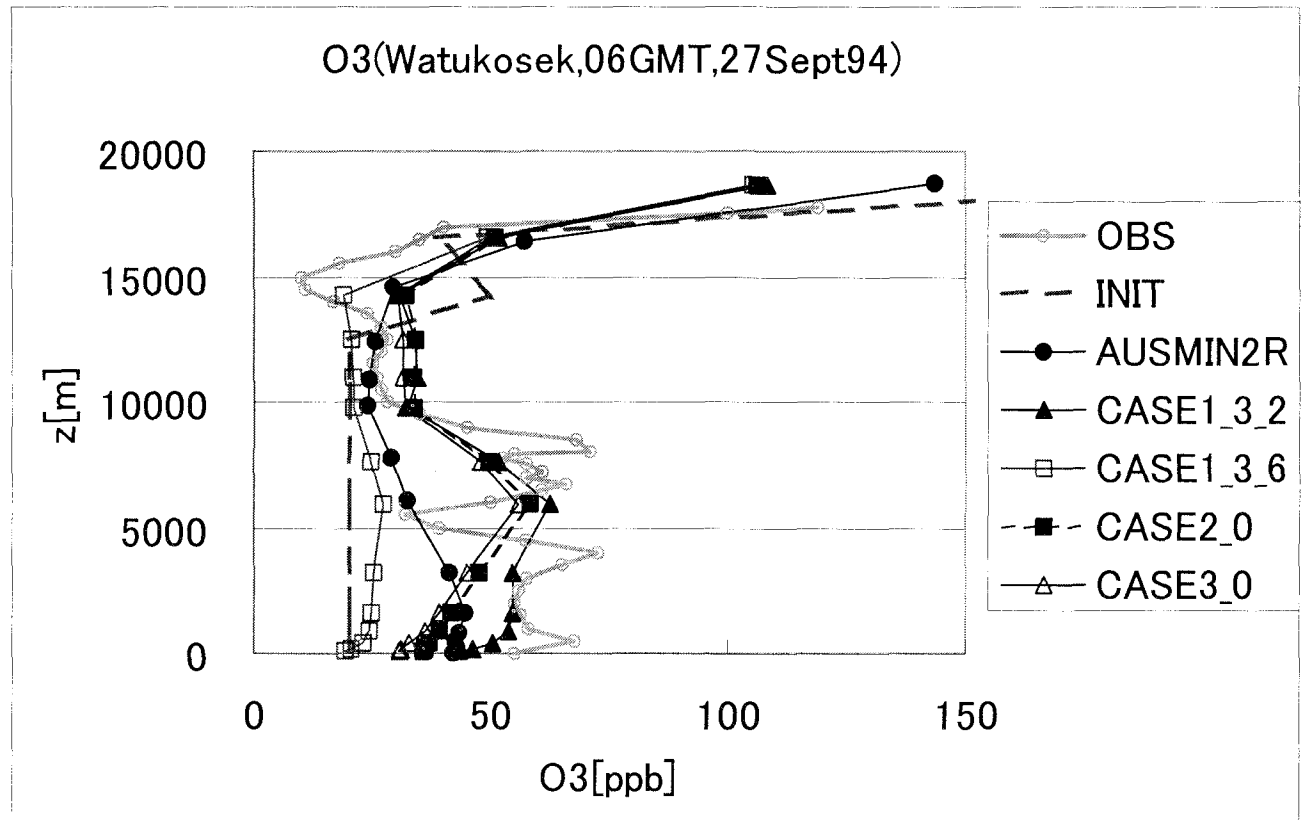


Fig.2. ジャワ島ワトコセ (Watukosek; 7.5S, 112.6E)でのオゾン分布：観測と計算値の比較。"AUSMIN2R"が、東アジア-西太平洋域のシミュレーション結果を示すほかは、すべて、全球モデルによる。OBS: 観測値、INIT: 初期値。

5. ワトコセ(112.6E)を通る南北面内のオゾン分布

Fig. 3 は、CASE 132について、112.5Eを通る、9月27日 12GMT での計算オゾン濃度を流れ場とともにプロットしたものである。また、Fig. 4はこのときの高度6km面での水平流線場を表す。Fig. 3より、30S付近から低緯度に向けて対流圏中層でのオゾン輸送が見られる。また、Fig. 4およびFig. 1が示すように、この輸送は、南半球中緯度の高気圧に伴う流れ場に基づくものである。Fig. 3は、ワトコセでの対流圏中層のオゾンが成層圏からの輸送を主とするものであるかのように想像させるが、Fig. 2のCASE 136(□)が示すように成層圏からの直接流入の影響はそれほどでもない。むしろ、南半球の中緯度対流圏の中層で(アフリカ、南米大陸等のバイオマス燃焼起源ガスから)反応生成したオゾンが時折、オーストラリア西部海上にかなりの頻度で存在する高気圧性の流れにより低緯度熱帯の上空に運ばれると考えるべきであろう。

6. バイオマス燃焼から生成するオゾン

南半球のバイオマス燃焼から生成するオゾンの量と分布の例をFig. 5a,bに示す。それぞれ、1994年9月27日6GMT、高度1.5 kmと6km に対応する。アフリカのバイオマス火災の影響は、オーストラリア付近では高度6km程度で最大となり、最大20ppb程度の寄与があると予測できる。ジャワ島上空6kmでのアフリカ・バイオマス燃焼の直接的効果は、5ppb以下であろう。

インドネシア・オーストラリアのバイオマス火災の影響は、この時点では、1.5km面の図に見られるように局所的なものにとどまり、6km面では地球規模での波及が見られない。

7. 結論

以上、本研究では、地球規模化学輸送モデルを開発した。これは、以前の部分球モデルの拡張であるが、雲層やエアロゾル層の大気化学に対する影響も考慮できる。このGCTMを用いて、南半球のバイオマス火災による全球的な影響を評価した。特に、ワトコセ(ジャワ島)のオゾン分布の形成起源を検討した。Fig.2の観測に見られる対流圏中層(6-7km)のオゾン極値は、主として南半球中緯度で生成したオゾンが、高気圧に伴う南から北、上層から中層への流れによって低緯度熱帯上空に輸送されたものであることが明らかになった。下層のオゾンはインドネシア、オーストラリアのローカルなバイオマス火災からの生成による。

他の同種の研究でも言われていることであるが、南半球中緯度の対流圏中層大気は、特にインド洋上で強くアフリカのバイオマス火災に影響されている。オゾンに対するこの寄与は(9月1日—27日までのアフリカからのバイオマス火災からの排出による反応生成の寄与)は、30S付近の6km高度で最大15-20ppb程度であり、そのときの濃度の30%程度にあたる。非エルニーニョ年との比較とうも検討したい。

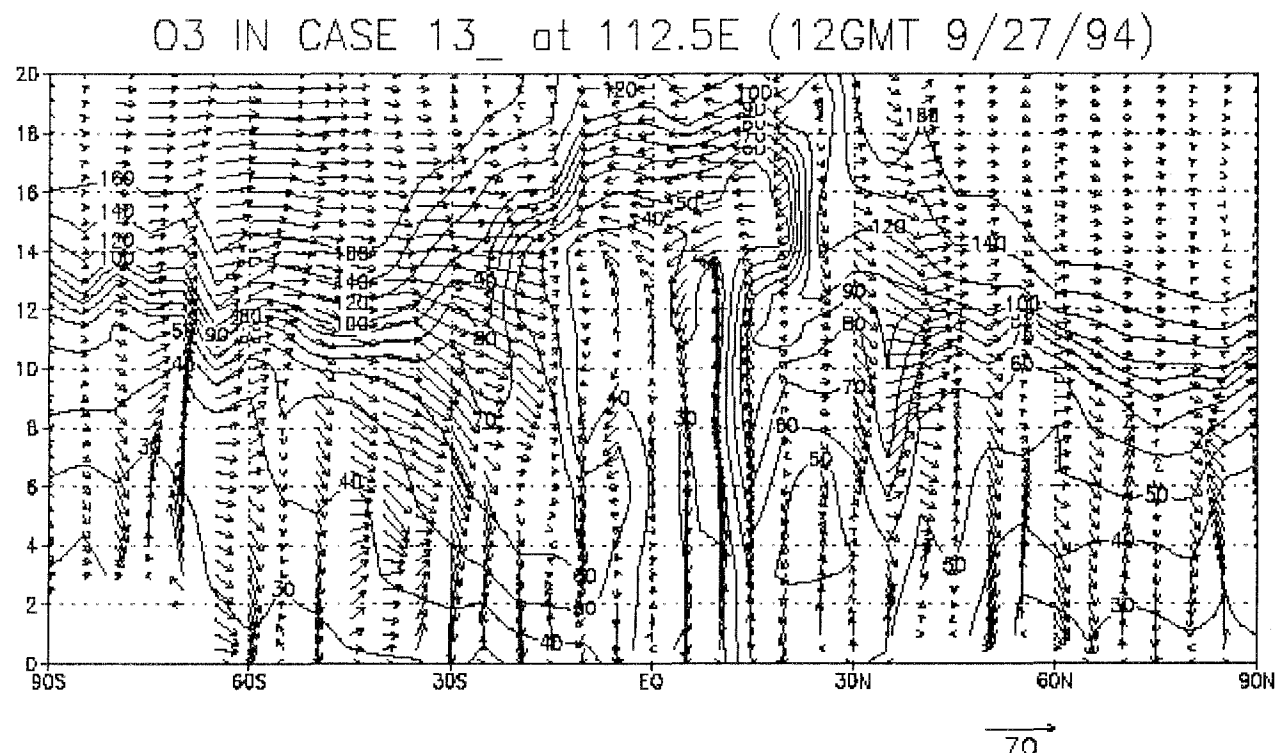


Fig. 3. 全球計算CASE 132のオゾン南北断面：112.5E, 12GMT, 27Sept.1994.

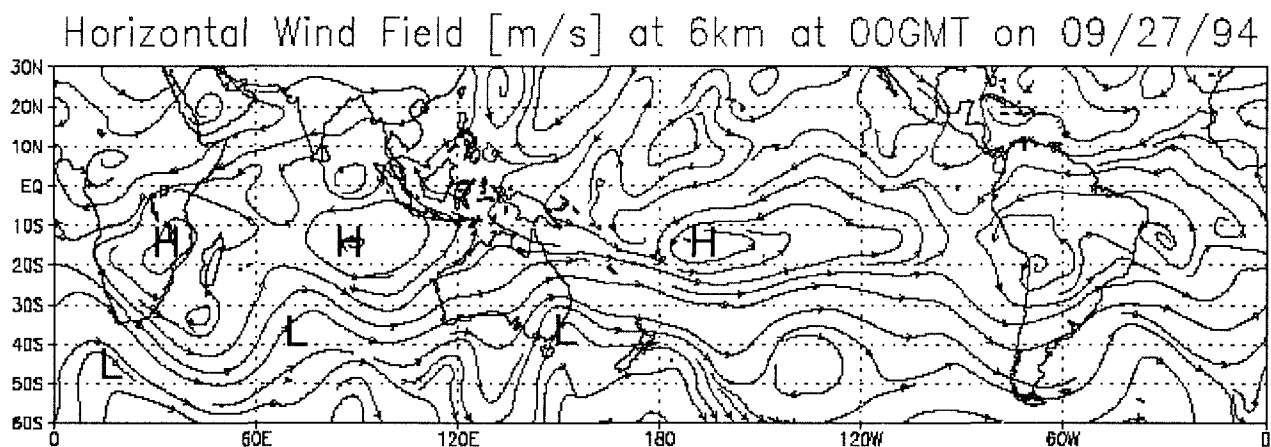


Fig.4. 1994年9月27日00GMT、高度6kmにおける流線図.

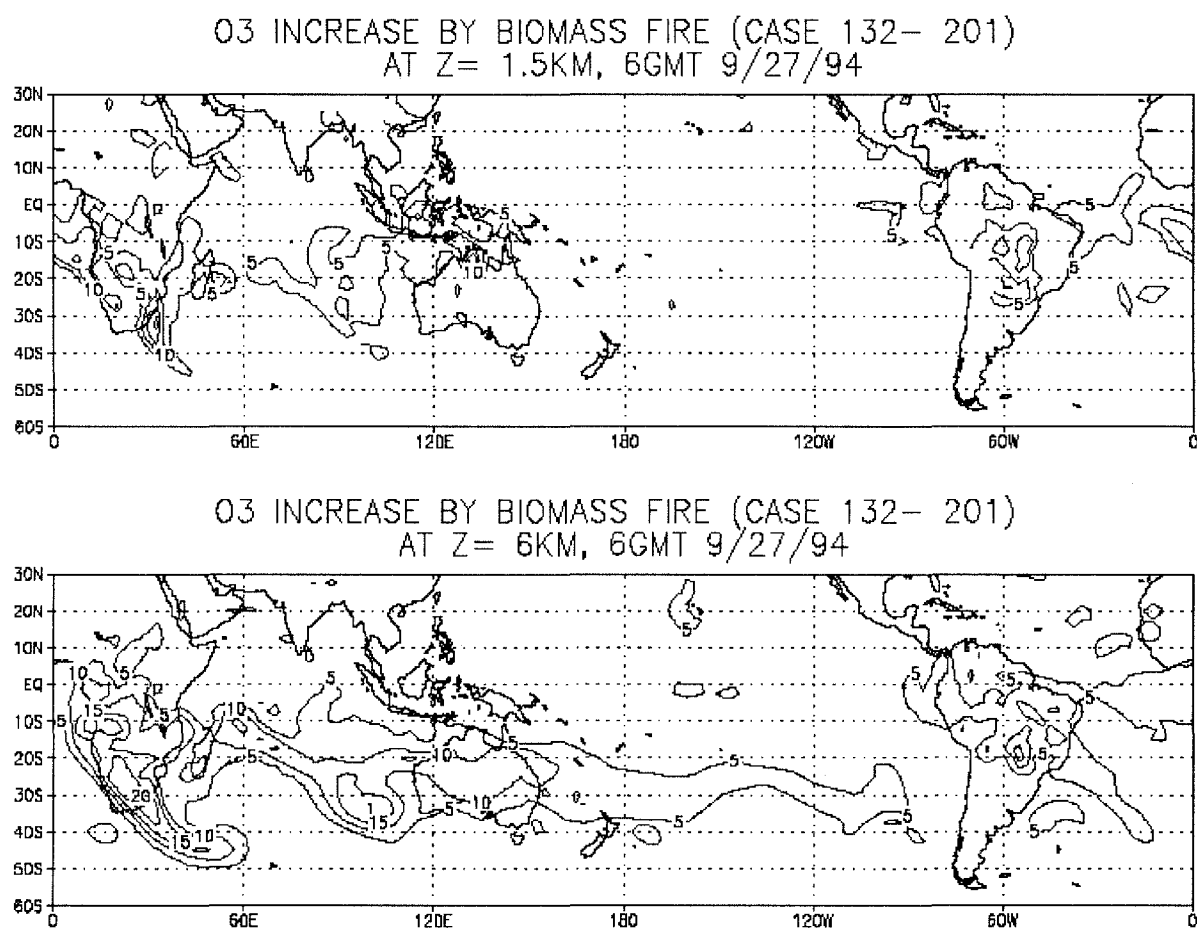


Fig. 5. バイオマス火災によって放出された化学物質による生成オゾン量の推定値 (CASE 132- Case 201) : (a)高度 1.5km、(b) 同 6km. 9月27日 6GMT.