

## 1999年秋季極域・寒冷域研究連絡会の報告

日本気象学会秋季大会（福岡）3日目（11月26日）のセッション終了後に、極域・寒冷域研究連絡会がアクロス福岡608会議室にて行われた。出席者は約50名であった。今回は「極域寒冷域とグローバル変動」と題して、講演特集を組んだ。近年、地球の気候系における極域寒冷域の果たす役割の重要性が指摘されてきているが、このような研究の進展には、現地での直接的観測だけではなく、間接的手法による研究も重要な貢献をしてきた。そこで、今回は理論・数値モデル・データ解析など「デスクワーク」を中心に研究を進められている5名の方々に講演をお願いし、両半球の極域寒冷域における大気・海洋・海水・氷床に関する最新の成果について、さまざまな角度から紹介して頂いた。設定した講演時間がやや短く、またいずれも活発な質疑が行われたため、終了予定時刻を大幅に超過したが、それぞれ十分な議論が行われたことを付け加えておく。なお、デスクワーク研究特集については、今後も引き続き実施していく予定である。

世話人：

平沢尚彦（国立極地研究所）

本田明治（地球フロンティア研究システム）

高田久美子（国立環境研究所）

中村 尚（東京大学理学部）

浮田甚郎（地球フロンティア研究システム）

阿部彩子（東京大学気候システム研究センター）

### 特集「極域寒冷域とグローバル変動」

#### 「成層圏循環と北極夜振動」

小寺邦彦（気象研究所）

北半球の冬季の成層圏は対流圏から伝播してくるプラネタリー波によって突然昇温が起こることは広く知られている。しかしながら、このような短い時間スケールの現象だけでなく、上部成層圏から対流圏にかけて

ゆっくりと伝播してくる平均帯状風の変動が見られる。ここで言う「ゆっくり」とは成層圏突然昇温に比べてゆっくりとした季節内変動を意味する。ところで成層圏突然昇温はこのゆっくりとした変動の一部として起こっている。Holton and Mass (1976)の簡単モデルでは下部境界条件が一定であっても成層圏内部の力学によって振動状態が生じることが知られているが、観測に見られる極夜ジェットの変動も同様の機構によって生成されていると考えられる。

この北極夜における成層圏の変動は成層圏に留まらずさらに対流圏へと伝播してくる。対流圏における極夜ジェットに関連した変動は500 hPa 高度場においては、極域と中緯度での高度場の上下のシーソー、並びに対流圏プラネタリー波の南北伝播の変化として観測される。別の表現をすればこの対流圏の循環場の変化は現在「北極振動<sup>1)</sup>」として知られるものとほぼ同一である。ただし、注意すべきなのは、北極振動は夏にはその振幅は小さくなるものの一年を通して対流圏に存在するが、極夜ジェットの変動は寒候期のみである。つまり、北半球の冬季には、成層圏の極夜ジェットと対流圏の北極振動が一体となった形、つまり「北極夜振動」とでもいうような形で存在している。

#### 「オゾンホールが引き起こす大気大循環の変動」

渡辺真吾，廣岡俊彦，宮原三郎（九州大学理学部）

1970年代の終わりから年々規模を拡大している南極オゾンホールに加えて、1990年代には北極でも顕著なオゾン減少が生じている。これら春季の極域下部成層圏で生じるオゾン減少は、太陽紫外線加熱の減少を通じて、下部成層圏の温度場、ひいては中層大気の大循環に少なからず影響を及ぼしているものと考えられる。

例えば、南極オゾンホールが大規模だった1987年10～11月の南半球では、それ以前の他の年に比べて極渦の崩壊が遅れ、高緯度の上部成層圏は高温、下部成

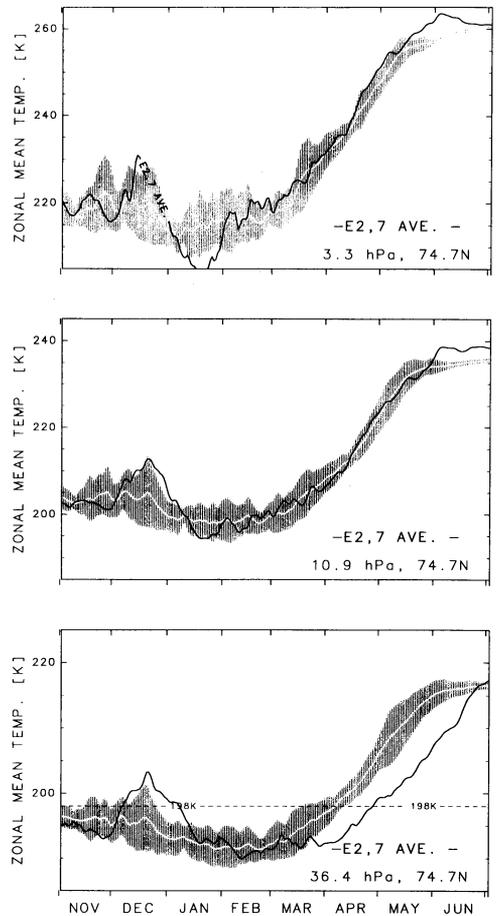
層圏は低温の、他の年の平均からの温度偏差が現れた (Randel, 1988). また、北半球でも1997年をはじめ、大規模なオゾン減少が極域に生じるようになった1990年代は、極渦の崩壊が遅れ、同様の温度偏差が現れた (Hirooka *et al.*, 1999).

この研究は、簡略化したオゾン光化学を含んだ大気大循環モデルを用いて、オゾンホールの数値シミュレーションを行い、モデル中で再現されるオゾンホールの年々変動と力学場の年々変動との対応について、詳しい解析を行うことを目的とする。

モデルは水平波数切断21 (平均分解能約 $5.6^\circ$ )、鉛直層数37層 (0~約83 kmの高度領域)の、九州大学中層大気大循環モデルに、オゾンの輸送と、NO<sub>x</sub>、HO<sub>x</sub>の触媒効果をチャップマン反応の反応係数にパラメタライズした光化学スキーム (Hartmann, 1978)を導入したものを用いた。予報されたオゾン混合比は放射過程を通じて力学場と相互作用する。このモデルは、オゾンホール形成に重要な塩素系や不均一反応は含まない。代わりに、観測に見合うように設定した、緯度・高度・気温・太陽天頂角の全ての条件が満たされたときに働く、緩和時間30日のオゾン減少項により、オゾンホールを形成する。これを用いて、ある年の8月1日を同一の初期値に取り、南北両極にオゾンホールを形成させるオゾンホール実験と、減少項を含まない標準実験を、それぞれ10年間連続で行った。減少項が働かない期間には、オゾンは低緯度から輸送されてモデル内で自然に回復する。

オゾンホール実験においては、南北半球とも、オゾン場・力学場ともに大きな年々変動が現れ、特に北半球において顕著であった。北半球では、毎年4月を中心に北極周辺でオゾンが減少したが、比較的継続期間が長くて6月まで及ぶ例や、ホール形成後すぐに崩壊してしまう例が見られた。一方、11 hPaの平均東西風について両実験結果を比較すると、およそ5月上旬には極渦の崩壊がみられたが、極渦とオゾンホールが長期継続する年、極渦とオゾンホールが早期に崩壊する年が、10年間でそれぞれ2例ずつ見られた。標準実験の極渦崩壊がいずれの年も4月下旬から5月上旬に生じたのとは対照的である。

極渦とオゾンホールが長期継続した2例について解析結果をまとめると、2例とも4~5月の北極域上部成層圏に高温・下部成層圏に低温が現れ、過去の実験や観測と定性的・定量的に一致した。第1図は74.7°Nの帯状平均気温の時系列であり、黒実線が2例の平均を、



第1図 74.7°Nの帯状平均気温の時系列を3高度について示す。黒実線はオゾンホール実験の内、極渦とオゾンホールが長期継続した2例の平均を、白実線は標準実験の平均を、灰色は標準実験の標準偏差をそれぞれ表す。下図の破線はオゾン減少項の作動条件である198 Kを表す。

背景は標準実験の平均と標準偏差を表すが、上部成層圏の高温は、標準実験よりも遅れて生じる極渦の崩壊・強い力学昇温と結びついていることが明らかであろう。これにはプラネタリー波の活動の年々変動と、下部成層圏の低温化にともなう極渦の強化が影響している。下部成層圏の低温に関しては、力学場の年々変動にともなってあらかじめ2~3月が低温であると大きなオゾン減少が生じ、さらに、オゾン日射加熱の減少のために、低温が長期に亘って持続し、そのことがオゾン減少をより長期化するという正のフィード・バックが働いていることが分かった。

次に、年々の極渦崩壊の早晚と、オゾンホール最盛期の北極域下部成層圏の気温を比較すると、その時期の気温が低いほど極渦の崩壊が遅くなることが分かった。また、オゾンホール実験では極渦崩壊時期の年々変動が標準実験のものよりもずっと大きくなった点は興味深い。気温の低下にオゾンホール形成が寄与していることを考え合わせると、この後の力学場の季節進行に、オゾンホールのフィードバック効果が寄与していることが示唆される。ただし、極渦の崩壊時期の違いには、極域の温度場のみならず、プラネタリー波の活動の違いなども関係しているはずで、オゾンホールの影響を定量化するにはさらに詳しい解析が必要となる。

また、オゾンホールにともなって起こる北半球の極渦の強弱の年々変動は、北極振動 (Thompson and Wallace, 1998) と結びついていると考えられ、さらに対流圏の気候変動とも関連している可能性がある。この実験では、11 hPa, 50 hPa 高度場において、冬季12~2月だけでなく、オゾンホールのフィードバック効果が働く3~5月にかけて、北極振動に相当する環状モードの卓越がみられた。今後、オゾンホールの長大化と北極振動、そして対流圏の気候変動との関連についても、詳細に調べる必要があると思われる。

#### 「オホーツク海の海水と気候変動」

立花義裕 (地球フロンティア研究システム国際北極圏研究センター/東海大学文明研究所)

オホーツク海の海水の年々変動とグローバルな気候変動の関係についての発表を行った。海水が大気大循環に及ぼす影響については、Honda *et al.* (1996) の先駆的研究によって、海水の重要性が指摘され、大気が海水の年々変動に及ぼす影響については、Tachibana *et al.* (1996) にて、アリューシャン低気圧との関連から指摘されている。一方、Thompson and Wallace (1998) が「北極振動」を提唱して以降、大気大循環の年々変動と北極振動の年々変動の関連などについての研究が諸研究機関で活発に始められている。我々は、オホーツク海の海水の年々変動を北極振動の関連性という観点から改めて海水の変動を見直してみた。その結果、海水の年々変動と、北極振動の冬季の変動に非常によい負の相関関係があることがわかった。ここでいう負相関とは、北極域が低気圧偏差大、中緯度域が高気圧偏差大の年ほどオホーツク海の海水が少ないということを意味する。このような関係が生

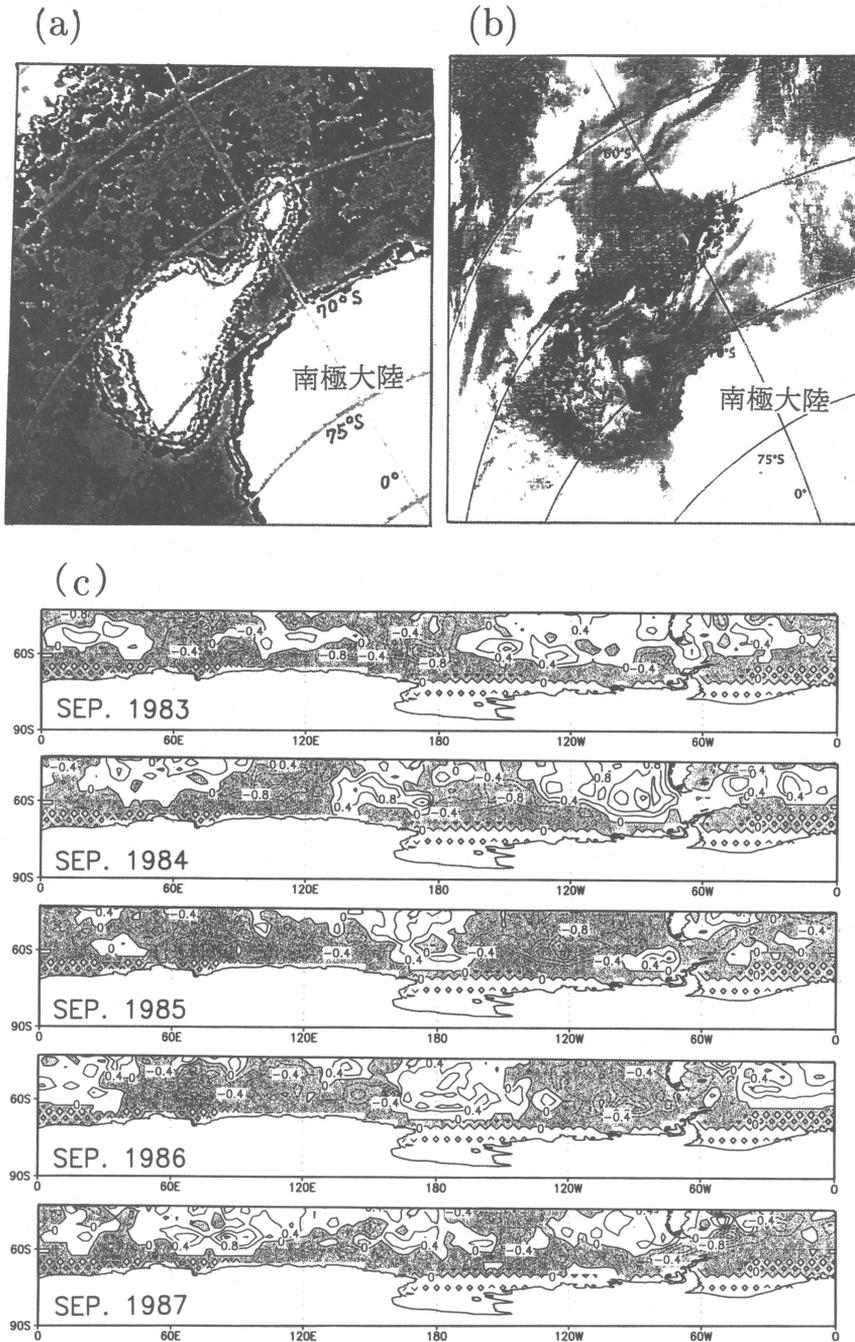
じる理由を調べるために、オホーツク海の海水-海洋モデルを用いて、地上気圧場をEOF展開した第1主成分 (北極振動に相当) から計算された地衡風場を求め、その正偏差場風と負偏差場風をモデルの境界条件として与え、海水の応答を調べた。その結果、観測結果と矛盾しない結果が得られ、北極振動の変動による風の影響がオホーツク海の海水の年々変動に対して重要であることが示唆された。

一方、オホーツク海の海水は、アムール川からの淡水流入の影響が重要であるとの指摘が古くからなされている。アムール川は冬季は結氷し流量がほとんど存在せず、夏期に集中して流出する河川である。我々はアムール川の流量の年々変動とオホーツク海の海水の年々変動の関係についても調べている。その中間結果によると、アムール川の年々変動とオホーツク海全体の海水の年々変動は、これまで指摘されてきた関係とは全く逆の関係にあり、河川流量が多い年に続く冬季ほど海水が少ないことがわかった (Ogi *et al.*, 2000)。これらの関係がなぜ生じるか? 淡水が直接なんらかの影響を海水に与えているという仮説。あるいは、河川流量を規定する夏季大気大循環が、北極振動に代表される冬季大気大循環と何らかの関係にあるという仮説。以上の仮説が考えられるが、これらについては現在研究中であり、今後学会の全国大会などで議論させていただければ幸いである。なおこのような発表の場を設けていただいた極域・寒冷域研究会のみなさま、およびお忙しいところお集まりいただき活発な議論をさせていただいた学会員のみなさまに感謝いたします。

#### 「新生代寒冷化における南極氷床形成の影響について」

小倉知夫 (東京大学気候システム研究センター)  
南極氷床の形成はおよそ3400万年前に始まり、大気中CO<sub>2</sub>濃度減少や大陸移動とともに新生代 (過去6500万年間) の高緯度域寒冷化に寄与してきたと推定されている (e.g., Crowley and North, 1991)。しかし、他の寒冷化要因と比較したときの氷床形成の重要性や、氷床を特徴付ける高いアルベドと標高の役割の違いについては南極氷床について未だ明らかにされていない。そこで本研究では南極氷床が高緯度域の気候に及ぼす影響を調べるために大気大循環モデルを混合層海洋モデルと結合して数値実験を行った。

数値実験の設定としては、現在の南極大陸が1) 平



第2図 1975年8月のウェッデルポリニア。(a) マイクロ波放射計、(b) 赤外放射計による観測結果 (Gordon and Comiso, 1988) と、(c) 1983年から87年までの各年9月の海面水温偏差。等値線間隔は0.4 K。南極周極波動が見られる。

坦なツンドラ, 2) 厚みのない平坦な氷, 3) 高さ最大3600 mの南極氷床, で覆われた3ケースを境界条件として与え, 大気中CO<sub>2</sub>濃度を2通りに変えて(1×345, 4×345[ppmv])定常解を求めた。これら計6ケースの定常解を相互に比較し, 南極氷床のアルベドならびに標高が周辺大気・海水温度に及ぼす効果を解析し, CO<sub>2</sub>濃度変化の効果と比較した。

得られた結果から, 以下のことが示された; (1) 南極氷床による寒冷化の効果は新生代の大気中CO<sub>2</sub>濃度減少の効果と比べて高緯度域では無視できないほど大きい。(2) 氷床の高いアルベドによる寒冷化効果は氷床の高い標高の効果により氷床上で促進され, 南極環海上でわずかに抑制される。(3) 南向き大気熱輸送は氷床の高いアルベドの効果により促進され, 高い標高の効果により抑制される。熱輸送の変化は低緯度域まで広がって維持され, 大気海洋系のエネルギーバランスに及ぼす影響は局地的な短波, 長波の変化に匹敵するほど大きい。

#### 「南大洋の大規模変動—ウエッデルポリニア及び南極周極波動—」

本井達夫(地球フロンティア研究システム)

1973年から極軌道観測衛星のマイクロ波放射計によって, 南大洋の輝度温度が観測されている。この観測の成果の1つに, ウエッデルポリニアの発見がある。ウエッデルポリニアとはウエッデル海に現れたポリニアという意味である。ポリニアとは, 海水域内で海水に囲まれた大規模な開水域である。第2図aに1975年8月に観測された南大洋ウエッデル海の輝度温度分布を示している。図中, 南極大陸以外の白色の部分が開水域, 灰色と黒色の部分が海水域である。海水域の中に, 大規模な開水域が存在しているのが分かる。これが, ウエッデルポリニアである。

ウエッデルポリニアは1974, 75, 76年に顕著に現れ, この間に消滅することなく, 冬期も通して存在していた。第2図bは, 赤外放射計による観測結果である。ウエッデルポリニアの周辺に白くひろがる海水と層雲が見られる。また, ウエッデルポリニア上空の大気中にはセル状とロール状の積雲が発達している。一方, ウエッデルポリニア内部の海洋では深層(約3000 m)に達する深い対流(チムニーまたはプリュームと呼ばれる)が発達していたことが海洋観測と鉛直1次元海洋混合層-海水モデル実験で推定されている。

現在, 南大洋で発見されている大規模気候変動とし

て, ウエッデルポリニアのほかには, 南極周極波動がある。第2図cは, 人工衛星による1983から87年までの9月の海面水温偏差の観測結果である。この図から南大洋の南緯60度付近に東西波数2の構造をもった波動が東に約6~8 cm/sで伝播しているのが見られる。この波動が南極周極波動である。人工衛星観測からは, 海面水温以外に, 海水縁の位置も波数2で波うっており, 海面水温と同様に東に伝播していることが確かめられている。また, 大気海洋大循環結合モデルによる数値実験から, 海洋の塩分や密度も水温, 海水と同様に波数2の構造をもって東に伝播していることが見い出されている。

しかしながら, ウエッデルポリニアや南極周極波動にともなう大気/海水/海洋系の3次元構造とその変化には, 解明されていない問題がまだ多くある。これらの現象を含む南大洋の大規模気候変動の理解のために, 今までに蓄積された観測データとモデル数値実験データの解析をさらに進める必要がある。また, 今後続けられる観測とモデル数値実験に寄せる期待も大きい。

#### 謝 辞

本会の開催にあたって, 大会実行委員会, 講演企画委員会には大変お世話になりましたので, お礼申し上げます。また講演を快く引き受けて頂きました諸氏に感謝申し上げます。

#### [補足:用語の説明]

(この補足は担当編集委員の指示に従って, 極域・寒冷域研究連絡会が付したものである)

##### 1) 北極振動

Kodera *et al.* (1996)は, 極夜ジェットの変動に伴って対流圏上層から下部成層圏にみられる北極域と中緯度帯の高度偏差場の間にシーソー的な変動が見られることを示した。Thompson and Wallace (1998)は, このシーソーが地上から下部成層圏に及ぶ等価順圧的構造を持っていることを示し, 北半球の循環場に卓越する主要なモードとして「北極振動 (Arctic Oscillation: AO)」と名付けた。空間パターンは11月~4月の北緯20度以北の月平均海面気圧場のEOF第1モードとして得られる。

#### 参 考 文 献

Crowley, T. J. and G. R. North, 1991: Paleo-

- climatology, Oxford Univ. Press, 183-211.
- Gordon, A. L. and J. C. Comiso, 1988 : Polynyas in the Southern Ocean, *Scientific American*, **258**(6), 70-77.
- Hartmann, D. L., 1978 : A note concerning the effect of varying extinction on radiative-photochemical relaxation, *J. Atmos. Sci.*, **35**, 1125-1130.
- Hirooka, T., M. Yoshikawa, S. Miyahara and T. Kayahara, 1999 : Radiative and dynamical impacts of Arctic and Antarctic ozone holes : General circulation model experiments, *Adv. Space Res.*, **24**, 1637-1640.
- Holton, J. R. and C. Mass, 1976 : Stratospheric vacillation cycles, *J. Atmos. Sci.*, **33**, 2218-2225.
- Honda, M., K. Yamazaki, Y. Tachibana and K. Takeuchi, 1996 : Influence of Okhotsk sea-ice extent on atmospheric circulation, *Geophys. Res. Lett.*, **23**, 3595-3598.
- Kodera, K., M. Chiba, H. Koide, A. Kitoh and Y. Nikaidou, 1996 : Interannual variability of the winter stratosphere and troposphere in the Northern Hemisphere, *J. Meteor. Soc. Japan*, **74**, 365-382.
- Ogi, M., Y. Tachibana, F. Nishio, and M. Danchenkov, 2000 : Does the fresh water supply from the Amur River flowing into the Sea of Okhotsk affect sea ice formation?, *Geophys. Res. Lett.*, submitted.
- Randel, W. J., 1988 : The anomalous circulation in the Southern Hemisphere stratosphere during spring 1987, *Geophys. Res. Lett.*, **15**, 911-914.
- Tachibana, Y., M. Honda and K. Takeuchi, 1996 : The abrupt decrease of the sea ice over the southern part of the Sea of Okhotsk in 1989 and its relation to the recent weakening of the Aleutian low, *J. Meteor. Soc. Japan*, **74**, 579-584.
- Thompson, D. W. J. and J. M. Wallace, 1998 : The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields, *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 1297-1300.



## 教員（東京家政大学）の公募

1. 職名：教授または助教授1名
2. 所属：家政学部環境情報学科
3. 主な担当科目：地球環境論，エネルギー論，地球科学，自然と環境など
4. 応募資格：博士の学位を有する方。上記科目が担当できること。なお，計算機を使ったデータ解析や数値計算のできる方が望ましい。
5. 採用予定日：平成13年4月1日
6. 応募書類：
  - 1) 履歴書
  - 2) 研究業績の目録  
(レフェリーのあつ論文と，それ以外の論文，解説等，著書，その他)
  - 3) 主要論文の別冊またはコピー（5編程度）
  - 4) 教育と研究に対する抱負（これまでの教育・研究業績を含め1200字程度）
- 5) 着任後に担当する主要科目（1科目）の授業計画。
- 6) 学科教員メンバーの前であつあなたの主要な研究についてレクチャーして頂きます。  
※1), 2), 5) は指定用紙がありますので下記の「書類の提出先」に請求して下さい。
7. 応募締切日：平成12年7月末日必着
8. 書類の提出先：〒173-8602  
東京都板橋区加賀1-18-1  
東京家政大学家政学部環境情報学科事務担当  
TEL：03-3961-2240  
応募書類送付の際は，封筒に「教員応募書類」と朱書きしてください。
9. 問い合わせ先：環境情報学科長 荒川正一  
TEL：03-3961-4719 FAX：03-3961-1736