

モンゴルにおける植生変動と気候変動の関係に関する 予察的研究

近藤昭彦*・開発一郎**

* 千葉大学環境リモートセンシング研究センター

** 広島大学総合科学部

1. 目的

アメリカの気象衛星 NOAA に搭載されたセンサーである AVHRR による画像は 1981 年の後半以降のデータセットが世界に向けて公開されており、これまで様々な成果が生み出された。例えば、1980 年代後半には世界各地の大陸スケールの植生分類が可能になったこと（例えば、Justice *et al.*, 1985）、大気 CO₂ 濃度変動と植生活動の関係 (Tucker *et al.*, 1986)、等の重要な知見が得られている。1990 年代に入ると 10 年スケールの蓄積による長期変動解析が可能となり、植生活動の経年的活発化、特に北半球において植生活動が活発になっていることが明らかにされ (Myneni *et al.*, 1997)、地球温暖化との関連が論じられた。Kawabata *et al.* (2001)、近藤ほか (2002) は衛星データと気温、降水量変動との相関解析により、グローバルスケールで水分条件に敏感な植生帯と、エネルギー条件に敏感な植生帯の存在を明らかにした。近藤ほか (2002) では植生活動の長期変動と大気 CO₂ 濃度変動の関係についても示唆した。

以上のように、グローバルスケールの植生変動は AVHRR データの全球解析によって大まかな傾向は明らかにされてきた。しかし、グローバルはローカルの集合体であり、ローカルな環境は地域性を持つため、気候変動と植生変動の関係は地域によって異なった形で現れるはずである。したがって、植生活動に対する気候変動の影響を明らかにするには、世界各地の植生帯において地域スケールの変動解析の結果を積み上げなければならない。そこで、本論ではグローバルな植生変動解析の一環としてモンゴルを対象とした解析を試みた。

モンゴルは北部のタイガから南部のゴビに連続的に植生帯が変化し、近藤ほか (2002) の解析では水依存の植生帯とエネルギー依存の植生帯の漸移帯と考え

られる。この地域の中で気温と降水量の変化で表される 20 年間の気候変動がどのように植生活動に影響を及ぼしているのか、を明らかにすることを試みる。これは将来の気候変動のもとにおける植生へのインパクトを予測するための基礎資料となると考えられる。

2 . データと手法

1) 衛星データ

使用した衛星データは Pathfinder Global 10 day composited 8km AVHRR NDVI data であり、NASA/GSFC のホームページ (<http://daac.gsfc.nasa.gov/>) からダウンロードすることができる。ここでは同データを用いて朴ほか(1999)が作成した Twenty-year Global 4-minute AVHRR NDVI Dataset (PAL データ)を用いた。このデータセットは雲の影響を除去するために一定期間 NDVI (正規化植生指数) のプロファイル変化を追跡し、NDVI が植生の季節変化に合わせてスムーズに変動するように補正する手法を適用したものである。したがって、植生活動の経年変動を捉えるためには最適のデータセットといえる。

2) 土地被覆

上記の PAL データを用いて分類された全球土地被覆データセットである AARS Global 4-minute Land Cover Data Set (Tateishi *et al.*, 1997) によりモンゴルの植生帯を把握した。これは NDVI の季節変動に基づいて分類されたもので、各カテゴリーは同じフェノロジーを持つことになる。このデータは前記の NDVI データと重ね合わせることにより、同じカテゴリーの平均的な植生パラメーターを求めるために使用した。

3) 気象データ

気象業務支援センターから入手した世界気象資料を利用した。この中にはモンゴル国内の 40 点の気象観測所が含まれるが、収録されている 1982 年から 1998 年の全期間についてデータが揃っている観測所は 11 カ所である。これらの地点において気象データと衛星データ解析を行った。月ごとの気温、降水量からエネルギー条件としては温量指数、水分条件としては夏季の降水量 (5 ~ 8 月) を求め、衛星データとの対比を行った。

3 . 結果と考察

NDVI から求めることができる植生変数として、NDVI の積算値 ($\sum NDVI$)、および年間の NDVI の振幅 ($NDVI_{amp}$) を計算した。 $\sum NDVI$ は年間のバイオマス、 $NDVI_{amp}$ は生育期間における生長量を表すと考えられる。図 1 に世界的な温暖な年であった 1990 年と寒冷な年であった 1992 年の $\sum NDVI$ と $NDVI_{amp}$ の分布を示す。 $\sum NDVI$ では温暖年の 1990 年の輝度が全体的に高く、 $NDVI_{amp}$ でも両年の違いは明らかである。したがって、 $\sum NDVI$ 画像は確かに各年の植生活動の違いを表していると言える。

図 2 に草原の代表として Choibalsan と Mandalgobi、森林の代表として Ulaanbaatar と Muren における植生パラメーターと夏季降水量、温量指数の時系列を示す。

$\sum NDVI$ と $NDVI_{amp}$ は 3×3 の窓領域 (約 20km 四方) の平均として計算した。

Choibalsan は Tateishi *et al.* (1997) の分類では Grassland、Mandalgobi は Little vegetation/others のカテゴリーに属する。Batima and Dagvadorj (2000) に掲載されているモンゴルの自然地域区分図によると前者は Steppe、後者は Desert Steppe であり、その分布形状は Tateishi *et al.* (1997) と概ね一致している。どちらの地域とも、夏季降水量と $NDVI_{amp}$ の対応が非常によい。例えば、1990、1994 年の夏季降水量極大値に対する $NDVI_{amp}$ の対応は明瞭である。一方、バイオマスを表すと考えられる $\sum NDVI$ は $NDVI_{amp}$ と比較して相関は高くない。モンゴル南部の乾燥地域における草原植生では年々の成長は降水量に敏感に応答すると考えられる。

Ulaanbaatar と Muren の植生は Tateishi *et al.* (1997) の分類では Mixed vegetation に対応し (Batima and Dagvadorj (2000) では Forest Steppe)、 $\sum NDVI$ の中には森林のシグナルを多く含むと考えられる。これらの地域では植生パラメーターと夏季降水量、温量指数とのあいだには草原ほど明瞭な関係は発見できなかった。ただし、Ulaanbaatar に典型的に認められるように、 $\sum NDVI$ の変動には特徴的なパターンが認められる。すなわち、1990 年に極大値、1992 年に極小値を取り、その後 1994 年にかけて上昇する。1990 年は全球的に温暖な年であり、1992 年はフィリピン、ピナツボ火山の噴火後の影響で全球的に寒冷な年であった。

図 3 は Tateishi *et al.* (1997) の分類項目ごとに求めたモンゴル国土の平均 $\sum NDVI$ と $NDVI_{amp}$ である。森林の $\sum NDVI$ に上記の特徴的な変動が認められる

が、草原の NDVIamp では不明瞭となる。森林の NDVI に見られる変動は近藤ほか(2002)で解析された北半球の NDVI 変動と似ており、さらに図 4 に示すアラスカやハワイの大気 CO₂ 濃度偏差の変動パターンとも類似している。もちろん、見かけの類似性が因果関係を表すものではないが、経験的な関係の認識はメカニズムへの解明に繋がる重要なステップである。

以上の結果は森林はより大きなスケールの気候変動の影響を受けることを意味しているかも知れない。一方、乾燥地域に位置する草原では、その生育は降水量の年々変動に大きく影響されることを示している。図には示していないが、Forest Steppe と Steppe の境界に位置する Arvaiheer では草原域で認められた夏季降水量と NDVIamp の相関、森林域で認められた NDVI の特徴的な変動の両者が認められた。

5 . おわりに

リモートセンシングで把握できる植生変動と気象パラメーターの間の関係を検討した結果、草原植生では夏季降水量と NDVI の振幅(NDVIamp)の間に明瞭な関係が認められた。グローバルスケールのラフな衛星データセットを使ったにも関わらず、ある程度の関係が認められたことはリモートセンシングによるローカルな植生変動のモニタリングの可能性を示すものである。今後、新しい衛星データの蓄積によりグローバルスケールの植生変動研究はさらに進展すると思われるが、得られたシグナルを解釈するにはローカルスケールにおける地域性を加味して行う必要がある。安田ほか(2002)も西オーストラリアにおける植生指数と降雨量の時系列の関係について解析しているが、今後も地域における気候変動に対する植生の応答を集積し、グローバルスケールの中に位置付けて解釈していく必要がある。

本論では森林植生の経年変動と大気 CO₂ 濃度の変動との見かけの相関についても述べた。もちろん、現時点では検証のデータはない。しかし、見かけの関係は物理性の解明に繋がる可能性があり、温暖 - 高大気 CO₂ 濃度 - 活発な植生活動の対応は、土壌呼吸量の増加によっても説明できる可能性がある。今後の検討課題とするとともに、現場観測の指針としたい。

本研究は「ADEOS-II モンゴル高原地上検証実験 (AMPEX)」の一環として行われた成果の一部である。AMPEX では Ulaanbaatar、Mandalgobi、Arvaiheer を訪問

し、植生景観を確認している。

引用文献

近藤昭彦・建石隆太郎・ルンツヌウ エレオノラ・朴 鐘杰(2002)：植生活動と気候変動、大気 CO₂ 濃度との関係．水文・水資源学会誌、**15**(2)、128-138.

朴鐘杰・建石隆太郎・松岡真如(1999)：AVHRR NDVI 時系列データの高周波ノイズ除去のための T W O 法の提案．写真測量とリモートセンシング、**38**(5)、36-47．

安田 裕、川戸 渉、安部征雄、山田興一(2002)：西オーストラリア州スタアトメドー地区における植生指数時系列と降雨量時系列の関係について．沙漠研究、**11**、71-74.

Justice, C. O., Townshend, J. R. G., Holben, B. N., and Tucker, C. J.(1985): Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. *Int. J. of Remote Sensing*, **6**, 1271-1318.

Batima, P. and Dagvadorj, D. ed.(2000): *Climate Change and its impacts in Mongolia*. JEMR Publishing, Mongolia, 227p.

Kawabata, A., Ichii, K. and Yamaguchi, Y. (2001): Global monitoring of interannual changes in vegetation activities using NDVI and its relationships to temperature and precipitation. *Int. J. Remote Sensing*, **22**, 1377-1382.

Myneni, R. B., Keeling, C. D., Tucker, C. J., Asrar, G., and Nemani, R. R.(1997): Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981-1991. *Nature*, **386**, 698-702.

Tateishi, R., Wen, C., and Perera, K. (1997): Global four-minute land cover data set. *Journal of the Japan Society of Photogrammetry and Remote Sensing*, **36**(4), 66-78.

Tucker, C. J., Fung, I. Y., Keeling, C. D., Gammon, R. H.(1986): Relationships between atmospheric CO₂ variations and a satellite-derived vegetation index. *Nature*, **319**, 195-199.

Preliminary Analysis on the relationship between vegetation activity and climatic variation in Mongolia

KONDOH Akihiko* and Ichirow KAIHOTSU**

衛星データによって把握できる植生変動と気候変動の関係の解析をモンゴルを対象として行った。その結果、草原植生においては NDVI の振幅とローカルな夏季の降水量の間により相関関係が認められた。森林植生では NDVI と気温、降水条件の間には良好な関係は認められなかったが、特徴的な経年変動が認められた。これは大気 CO₂ 濃度の偏差の変動とよく対応しているように見える。これは、モンゴルの植生変動にはローカルな変動と、グローバルな変動を同時に考慮する必要性を示唆している。

The relationship between vegetation dynamics and climatic variation was analyzed in Mongolia. Excellent correlation between annual amplitude of NDVI and local summer precipitation is recognized in herbaceous vegetation. There is less correlation between NDVI and climatic parameters in woody vegetation, however, characteristic variation is discriminated. The variation is similar to that of anomaly of atmospheric CO₂ variation. This suggests that the analyses on the variation of Mongolian vegetation should include the local and global perspective.

Key Words: Mongolia, NDVI, Climatic variation, warmth index, summer precipitation

*Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University, 1-33 Yayoi, Inage, Chiba 263-8522, Japan

** Department of Natural Environmental Sciences, Sogokagaku-bu, Hiroshima University, Higashihiroshima, 739-8521, Japan

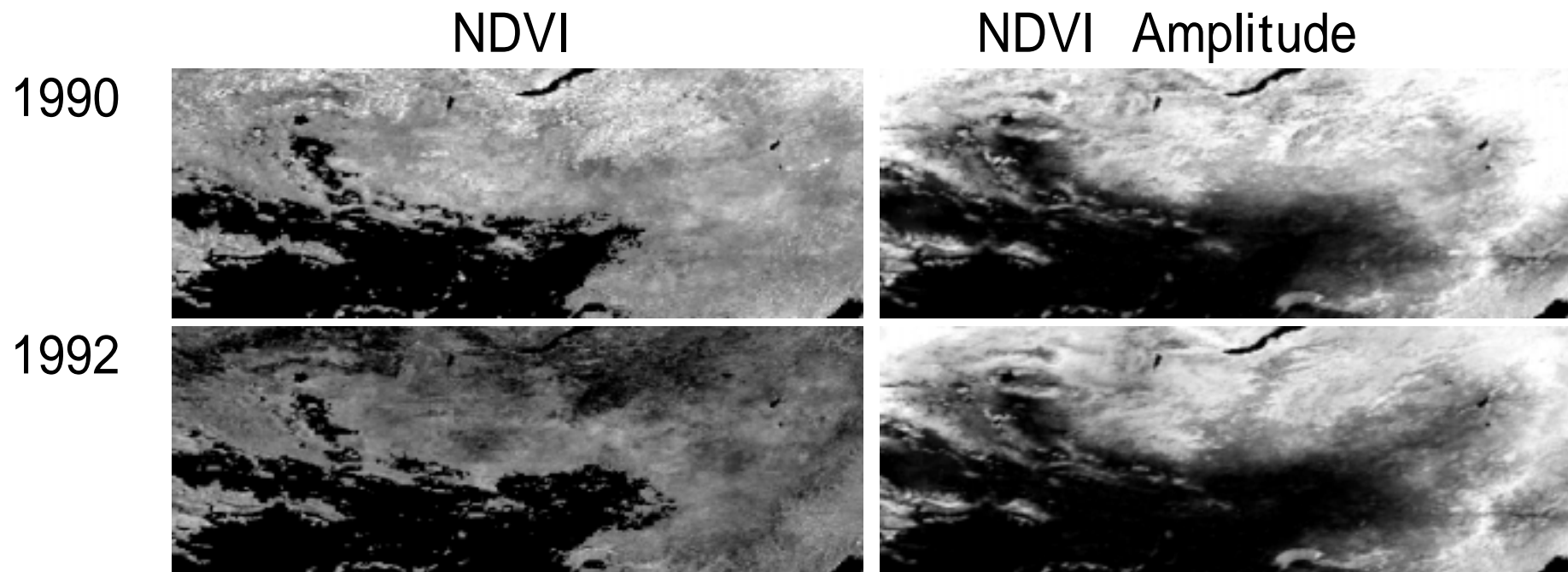


図1 温暖年(1990年)と寒冷年(1992年)における NDVIと NDVIの振幅. 作図範囲はモンゴルを含む北緯53度東経86度と北緯40度東経122度の範囲.

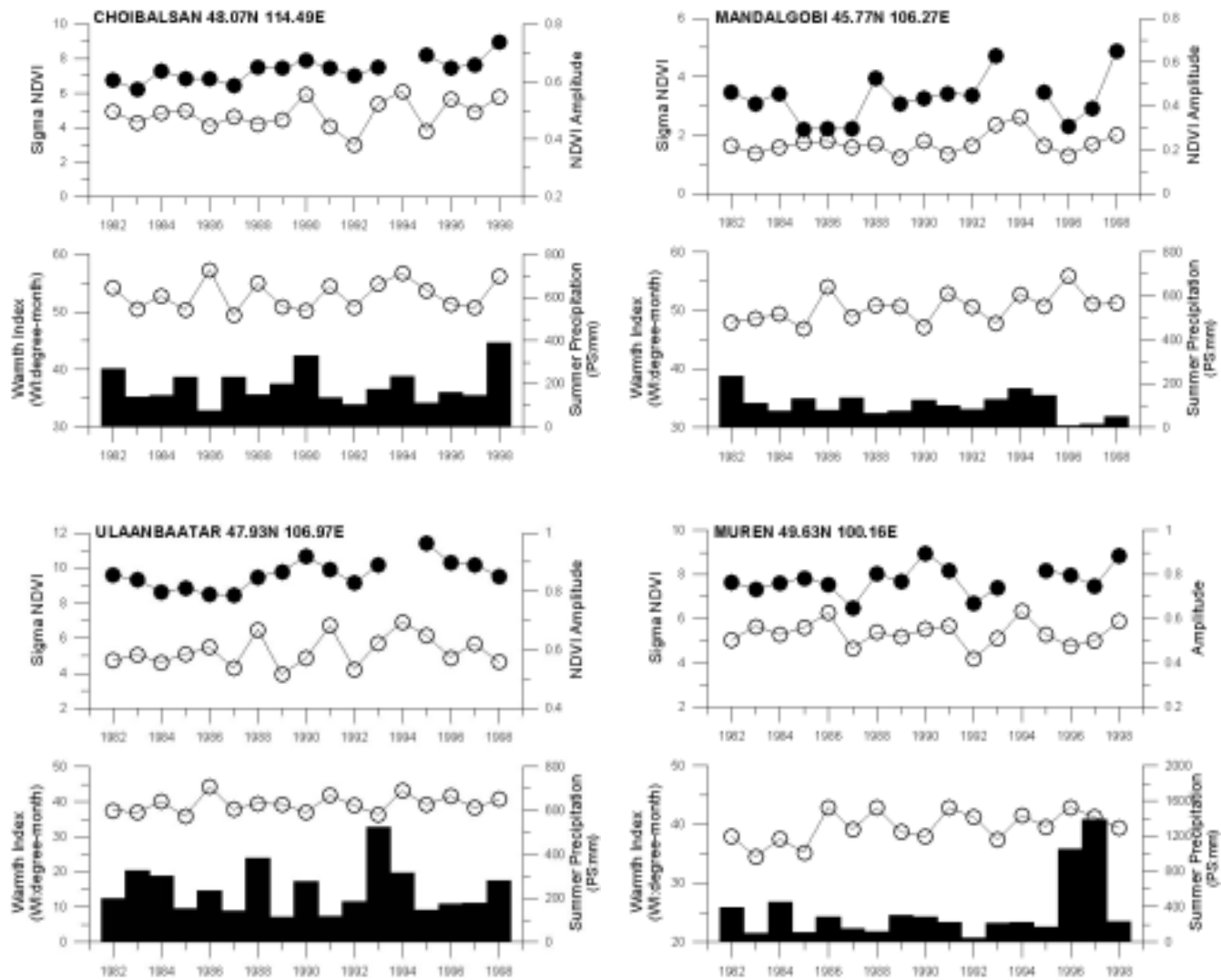


図2 NDVI(●:上)、NDVIの振幅(○:上)、温量指数(○:下)、夏季の降水量の経年変化(バー)

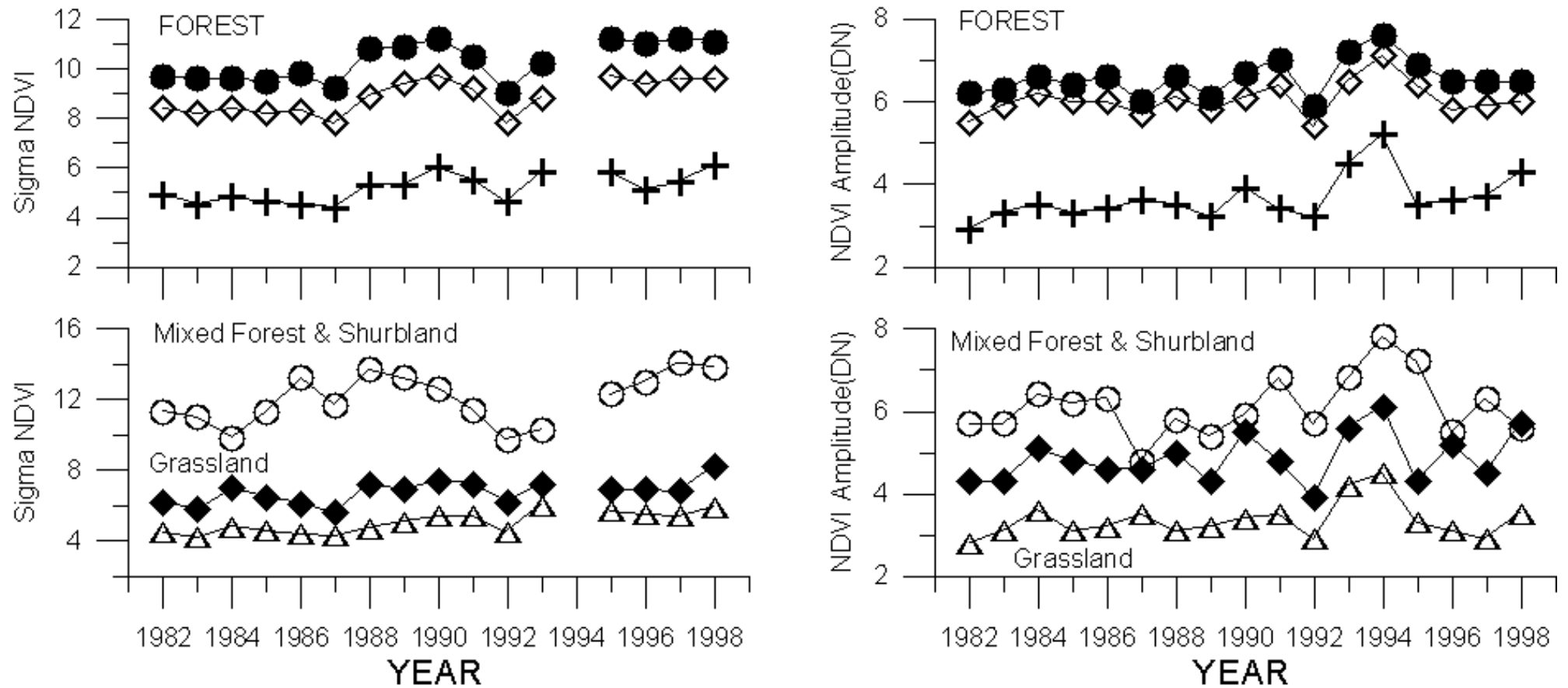


図3 植生帯ごとの NDVI(左)およびNDVIの振幅(右)の経年変動

○:Deciduous forest or shrubland(70), ●:Deciduous forest(72),
 +:Deciduous needle leaf forest(90), ◇: Mixed forest and shurubland, ○: Glassland(130), ◆:Natural grassland/pasture(132)(Tateishi *et al.*, 1994の分類とクラス番号)

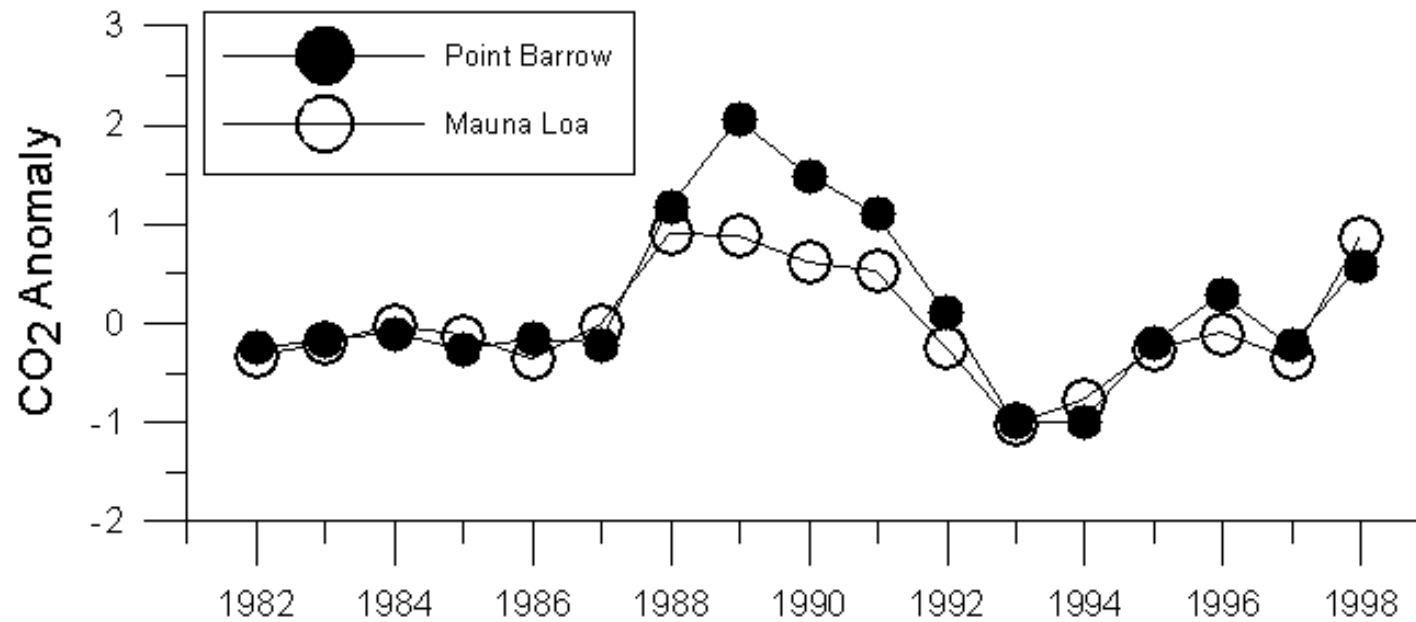


図4 アラスカ、ポイント・バローとハワイ、マウナ ロアにおける大気CO₂濃度のトレンドに対する偏差 (データソース Carbon Dioxide Information ANalysis Center URL: "<http://cdiac.esd.ornl.gov/>")