

チベット高原を利用した温暖化の早期検出と早期予測に関する研究  
 (3) 温暖化影響の早期検出と早期予測に関する方法の開発と確立

独立行政法人国立環境研究所  
 生物圏環境研究領域

唐 艶鴻・沈 妙根

独立行政法人農業環境技術研究所  
 大気環境研究領域

川島 茂人・杜 明遠

研究協力者：

陳 晋（北京師範大学）

平成 17～21 年度合計予算額	65,793 千円
（うち、平成 21 年度当初予算額	11,949 千円）*

[要旨] 本サブテーマの目的は、青海・チベット高原を対象に、生態系の変化と気候条件の関係を解明し、モデリングのアプローチによる温暖化とその影響の早期検出・早期予測に関する方法の開発である。生態系の変化については、生物季節相、葉面積指数（LAI）や生態系機能の指標になる生態系の炭素フラックスに絞った。気候条件については主に既存の気象観測データを利用した。まず、1) 早期検出と早期予測を行うための現状把握として、チベット高原の気候条件と生物季節相の空間変動特性を明らかにした。その結果、①2004 年までの 30 年間にチベット高原全体の気温が著しく上昇し、年平均気温は年に 0.028℃上昇したことがわかった。これは近隣地域より上昇幅が大きい。②年平均気温の上昇率は標高に伴う変化は少なかったが、冬季には標高の上昇に伴い気温の上昇率が低下し、逆に夏季には標高の上昇に伴い気温の上昇率が明らかに高いことが分かった。③また、年平均気温の低いところでは気温の上昇速度が速いことが示された。④生物季節相については、1983 年から 17 年間の衛星画像を利用し季節相の変化を検討した結果、標高の上昇に伴う春の展葉時期の早期化が顕著になる傾向が示された。さらに、⑤気温の低いところでは展葉時期が早いことがわかった。つぎに、2) 生態系変化の検出力を高めるため、花の反射スペクトル特性についての測定、解析およびモデリング研究を行った。その結果、Hyperspectral flower index (HFI)を開発し花の量（植生に対する割合）を正確に推定することを可能にした。そして、植生の季節相の変化をさらに正確に推定するため、花の影響も考慮したバイオマスの推定モデルを提示した。さらに、3) 生態系に及ぼす気候変化の影響を予測するため、①気候条件から生態系の季節相の推定・予測する多変量モデルを開発した；②生態系機能の指標の一つである生態系の炭素フラックスの時間的変化を検討し、衛星データと生態系炭素フラックとの間に高い相関を確認できた。これらの結果から生態系機能の変化を予測することが期待される；③既存モデルを利用し、チベット高原全体について生態系構造の指標である LAI と機能の指標である炭素フラックスの推定モデルを開発し、温暖化条件下でこれらの指標の変化を予測した。

[キーワード] 地球温暖化、高山生態系、季節相、NDVI、EVI

\* 上記の予算額はサブテーマ（2）と（3）の合計額

## 1. はじめに

多くの研究から地球の平均温度が過去数十年に確実に上昇していることが示されている。しかし、気温の上昇幅または変化は地域・時期によって大きく変化する。一方、気温の上昇に伴うほかの気候条件（降水・放射環境）も、地域や時期によって大きく変動することが最近の研究によって明らかになっている。温暖化とその影響の早期検出と早期予測のため、気温の上昇幅が大きい地域での観測が望ましい。

これまでの研究では、地球温暖化に伴う地表面の気温上昇は、高緯度地域の北極は赤道地域より温度の上昇幅が大きいことが分かった。また、同じ緯度では標高の高いところでは気温の上昇幅が高い可能性がある。たとえば、チベット高原は周辺と同緯度地域より気温の上昇幅が大きいとの報告がある。しかし、標高に伴う気温の上昇幅の変化についての長期観測はきわめて乏しく、「標高が高くなると温暖化に伴う気温の上昇幅も大きくなる」に関するデータも少ない。本研究は、二つの角度から、この問題を検討した。まず、チベット高原の二つの地域で約 1000m 垂直差のある斜面で気温の変化を観測した。観測期間はまだ短い（5年弱）が、標高の高いところでは気温の変動が大きいことがわかった。つぎに、これまでのチベット高原の気象データを収集し、標高と気温の関係を調べた。その結果、過去 30 年（2004 年まで）間チベット高原全体の気温上昇幅は、周辺地域より高いことがわかった。しかし、チベット高原内部では、標高に伴う気温上昇幅の違いはやや複雑なパターンが示された。すなわち、年平均気温の上昇幅は標高に伴う変化が少なかった。しかし、冬季には標高の上昇に伴い気温の上昇幅が低下し、逆に夏季には標高の上昇に伴い気温の上昇幅が明らかに高いことが分かった。

一方、「標高の高い生態系は温暖化影響が著しいか」について、詳しい検討もない。高緯度または高標高の生態系では、生態系の変化は温暖化に伴う大きな気温の変化によるものもあれば、これらの地域の生態系は、同じ程度の温度変化に対しても低緯度や低標高の生態系に比べ「より敏感に応答する能力」を持っている可能性もある。しかし、これらのことについて、十分な観測データに基づいた回答がない。そこで、本サブテーマでは、チベット高原の季節相に絞って、過去の気候変化とそれに対する生態系の季節相の応答を解析した。

「どのようにして温暖化影響の早期に検出できるか」については、これまでの研究蓄積がすくない。気候条件が変わると、生態系はさまざまな時間スケールで変化が起こる。これらの変化のシグナルは遅くて強いものもあれば、早くて弱いものもある。例えば、一部の早春植物が開花時期は気温の変化に非常に敏感であり、温暖化影響の検出にも意義がある。多くの高山植物は花が小さく、遠隔計測は開花のシグナルを検出することが難しい。温暖化の早期検出を目指す場合、このような微小なシグナルをどのように検出するかについて新しい手法の開発が期待される。

## 2. 研究目的

本サブテーマの目的は、「生態系に及ぼす温暖化影響の早期検出と早期予測のための方法」を探ることである。具体的に、標高差のあるチベット高原生態系を利用し、まず、標高に伴う気候条件や生物季節相の変化パターンを明らかにする。つぎに、気候条件と生物季節相の関係を解明する。さらに、生物季節相の変化または生態系機能の変化を予測するためのモデルを開発する。

3. 研究方法

(1) 気象データの収集と解析：

チベット高原全体の過去気候条件を把握するため、この地域に設置されている計 75 の気象観測点における 1966 年から 2003 年までの観測データを収集した (図 1)。これらのデータを使って、気温、蒸発散量、放射等のチベット高原の気象環境の時間的空間的変動とその要因についての解析を行った。また、チベット高原全体について、降水・気温の分布は東南部の湿潤地域と西北部の乾燥地域に分けられる。

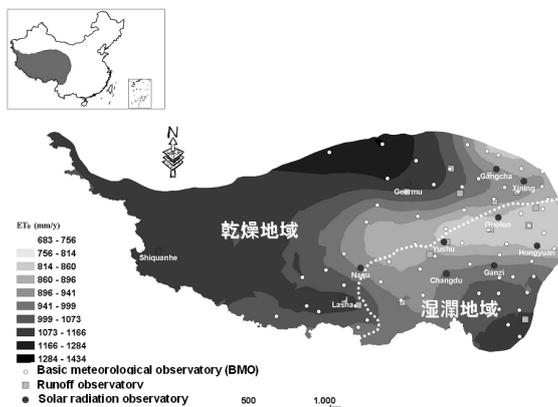


図 1 チベット高原気象観測サイトと気候地域 (白い点線は乾燥地域と湿潤地域の境界線)

(2) 植物の季節相に関するデータの収集と解析

衛星データから植物季節相を読み出す方法は、図 2 に示したように、実際の NDVI から近似値を利用して、NDVI の年間変動として算出した。この近似した曲線の微分から展葉日と落葉日を

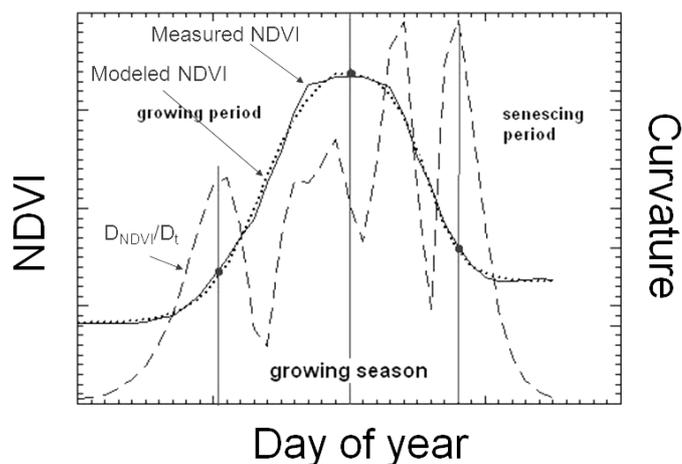


図 2 植物季節相 (左の軸：展葉日；中央の軸：最大現存量日；右の軸：落葉日) を推定する方法の説明。実線の曲線は衛星データから求めた NDVI；点線の曲線はモデルで近似した NDVI の変化；破線は近似した NDVI の微分を示す。

推定する。また、近似した年変動の曲線からの最大値は、地上部現存量の最大値または生育期間のピーク時期として解析を行った。生態系の成長期として、展葉日から落葉日までの期間であることにした。本研究では、1983 年から 1999 年まで衛星 PAL の 10 日間の最大値から合成した NDVI データを収集し、この間の生態系の季節相の変化を検討した。また、解析に使った画像は、常緑樹林や砂漠のような季節変化が明瞭でないところを除外した。

(3) NDVIとEVIの計算

NDVIはRouse et al. (1974)、EVIはLiu and Huete (1995)の方法に基づいて計算した。

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (1)$$

$$EVI = 2.5 \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + 6\rho_{red} - 7.5\rho_{blue} + 1}, \quad (2)$$

$\rho_{NIR}$ ,  $\rho_{red}$ , と  $\rho_b$  はそれぞれ近赤外、赤、青領域の反射率である。本研究では MODIS による NDVI と EVI を計算するときに使ったバンド 1 (620–670 nm), バンド 2 (841–876 nm) 及びバンド 3 (459–479 nm) を使った。また、MODIS バンド 1-3 の反射率は次の式によって得られる。

$$\rho_B = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} RSR(\lambda) E_0(\lambda) \rho(\lambda) d\lambda}{ESUN_B \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} RSR(\lambda) d\lambda}, \quad (3)$$

ここでは、 $\rho_B$  はシミュレーションした MODIS バンド B の地上反射率； $RSR(\lambda)$  は MODIS バンド B の相対スペクトル応答関数 B； $E_0(\lambda)$  は大気圏外の太陽放射； $ESUN_B$  はバンド依存の大気圏外の太陽放射の平均； $\rho(\lambda)$  は測定した植生の反射率； $\lambda_1$  と  $\lambda_2$  はバンド B の波長区間である。

#### (4) 植物地上部バイオマスの AGB の推定

二つのシナリオで植物地上部のバイオマス推定を行った。

$$R^i(\lambda) = f_{flower}^i \times R_{flower}(\lambda) + (1 - f_{flower}^i) R_{no\_flower}^i(\lambda)$$

$$0 \leq f_{flower}^i \leq 0.30;$$

in scenario 1, (4)

$$f_{flower}^i = f_{flower}^j, \text{ for } i \neq j,$$

in scenario 2,

$$f_{flower}^i = \text{randomu}(f_{cnt}^i - HWI_t, f_{cnt}^i + HWI_t),$$

$$f_{cnt}^i = f_{cnt}^j, \text{ for } i \neq j,$$

$$HWI_t = 0.025, 0.05, 0.075, 0.10, 0.125, 0.15;$$

ここでは、

$f_{flower}^i$  は仮定したプロット i の花の被度 ( $i=0, 1, 2, 3, \dots, 21$ )； $R_{flower}(\lambda)$  は波長  $\lambda$  の花の反射率、

$R_{no\_flower}^i$  は花を取り除いたときに測定したプロット i の反射率。シナリオ1では、 $f_{flower}^i$  0.01ずつ増

加させ、すべてのプロットは同じ花の被度を取る。シナリオ2では、 $f_{flower}^i$  はある範囲の被度

$(f_{cnt}^i - HWI_t, f_{cnt}^i + HWI_t)$  でランダムに変化させる。 $HWI_t$  は目的被度範囲の半分0.025から0.15

まで6通りのサブシナリオで変化する。 $f_{cnt}^i$  は各サブシナリオにおいてFCの中央値0.025ずつ変化

する。このように計算した反射率を使って NDVIとEVIを求め、AGBの推定を行う。

#### 4. 結果・考察

(1) チベット高原の気温変化特徴 1：標高の高いところは気温の上昇が速い

温暖化を検出し、温暖化影響を予測するため、まず、過去の気候変化を明らかにする必要がある。本研究では、チベット高原における過去数十年の気象観測データの解析を行い、高原の気候変化特徴を明らかにした。

チベット高原 2004 年までの 30 年間、チベット高原の気温はほとんどの地域で上昇が見られた。その上昇幅は、平均  $0.028\text{ }^{\circ}\text{C}$  / 年間の速度であることが判明された。とくに 1982 年から 1999 年の間上昇率が速いこともわかった。この上昇率は同期間中の中国全土また地球全体の気温上昇率と比べても高い。チベット高原の平均標高が約 4000m であることを考えると、上記の結果

から標高の高いところでは、気温の上昇速度が速いと言える。しかし、チベット高原地域内すべてのサイトについて、標高に伴う年平均温度の上昇速度の変化は明瞭でなかった。一方、異なる季節を見た場合、夏季の温度上昇は明らかに標高の上昇に伴い気温の上昇幅が大きくなることがわかった。冬季では逆に高いところの気温上昇率が低い。これは、雪や氷河が大きな影響を及ぼしたのではないかと考えられる。一方、このような傾向は、東南地域の湿潤気候条件と西北の乾燥地域では、若干の違いが見られたが、明瞭な差異は認められなかった。

(2) チベット高原の気温変化特徴 2：年平均気温の低いところでは気温の上昇が速い

チベット高原の地形は西南方向から東北方向へ低下する傾向がある。このため、広範囲での標高と気温の関係は緯度の影響で明瞭でなくなる可能性がある。緯度と経度の変化が少ないとき、気温の変化は、標高に伴い低下する。そこで、各観測サイトの年平均気温と気温の上昇率を検討した。その結果、年平均気温の低いところでは気温の上昇率が高いことがわかった (図 4)。しかも、気温と時間の相関が高いサイトでは、気温の上昇率と年平均気温の相関も高い (図 4B)。このことから、標高が高くなると、温暖化の速度が速くなることが明らかになった。

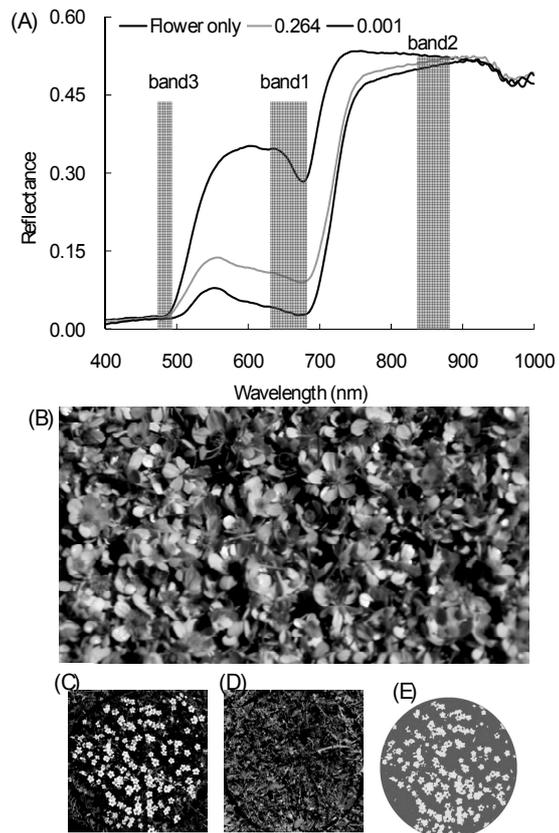


図 3 反射スペクトル (A) の例。集めた黄色花 (B)、自然状態の花と植生 (C)、花を切り取りした後の植生 (D) と花のみ (E)

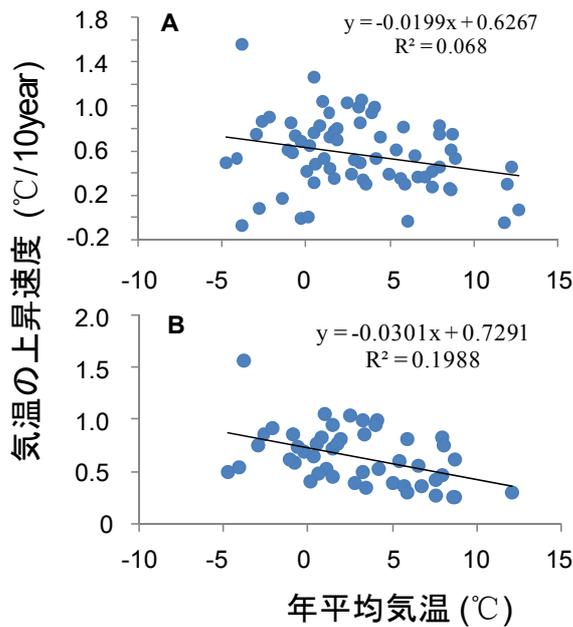


図4 年平均気温と温度上昇速度の関係(A:すべての観測サイト、 $N=68$   $P=0.032$ ; B:気温の上昇率の勾配の回帰係数  $R^2>0.1$  の場合のみ、 $N=48$   $P<0.001$ )

くなり、すなわち、100m ごとに生育期間が約 1.2 日も短くなることがわかった（詳細：2007 年度の報告書に参考）。本研究で得た標高に伴う気温の逡減率は、100m 上昇すると  $0.6^{\circ}\text{C}$  低下することから、 $1^{\circ}\text{C}$  の気温上昇は生育期間を約 2 日間延長することが示唆される。一方、5000m 以上になると、標高の上昇に伴い生育期間が長くなる。しかし、地域によって、この標高に伴うパターンが異なる。湿潤地域（おもに東南チベット地域）では、標高 6000m までの範囲でも、標高が高くなるにつれ、生育期間が短くなることが示された。一方、乾燥地域では、標高 4400m 以下では標高の上昇に伴い生育期間が急速に短くなったが、標高がさらに高くなると、生育期間が逆に長くなることも示された（詳細：2007 年度報告書、(3) の図 3）。すなわち、乾燥地域では、標高に伴う植物の生育期間の短縮は、湿潤地域より顕著であることがわかった。

### (3) 生物季節相の時間的空間的変動

1983 年から 1999 年までの 17 年間の衛星データを利用し、チベット高原の植物季節相の時間的空間的変動を検討した。まず、温暖で湿潤な東南地域では植物季節相は平均で 1 年に約 1 日 ( $0.92$  日) の速度で早くなった。しかし、寒冷・乾燥した西北地域では平均で毎年  $0.52$  日しか速まることはなかった。このことから、温暖・湿潤な地域では気温の上昇率が寒冷・乾燥地域より大きいことがわかった。一方、これまで報告されたチベット高原全体において標高に伴い生育期間（推定した開花日から推定した落葉日までの期間）が短くなることが確認され、約 5000m 以下では標高が 1000m ごと上昇するに伴い、生育期間が約 12 日も短

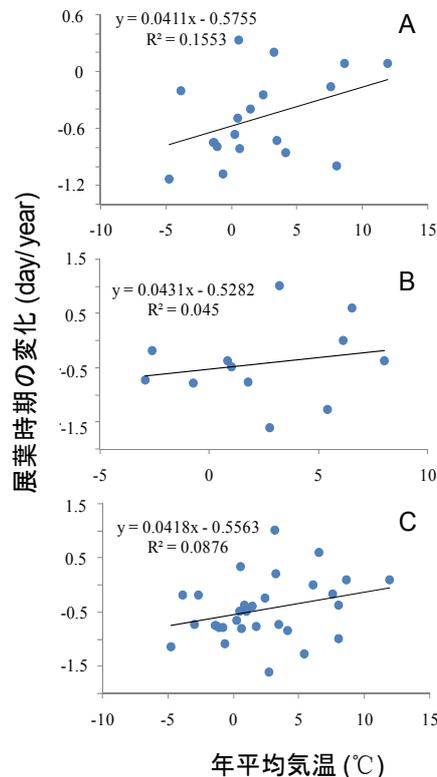


図5 年平均気温と展葉時期の関係(A:湿潤地域; B:乾燥地域; C:チベット高原全体)展葉時期は、負の値は展葉が早いことを示す。

さらに、各観測サイトの年平均気温と展葉時期の進みの関係を調べたところ、年平均気温の低いところでは、展葉時期の進み速度が速いことがわかった（図5）。すなわち、温暖化に伴う展葉時期は標高の高いところでは進み速度が速く、また、湿潤地域は乾燥地域と比べ、展葉時期の早期化が大きい傾向も示した。

#### （4）季節相の検出精度を向上するための手法開発

開花時期は生態系の季節相の重要な指標である。しかし、今まで衛星データなどの遠隔計測データから開花時期の検出手法がない。本研究のひとつの重要な成果は、花の反射特性について一連の実験と観測を行い、花の検出や地上部バイオマス（AGB）に及ぼす花の反射特性の影響を評価した。

AGBは生態系の構造と機能、とりわけ植生の季節相を表すための一つの重要なパラメータである。したがって、生態系の季節相の正確な推定はAGBの正確な測定または正確な推定が必要である。植物地上部のバイオマス推定は様々な方法がある。衛星データからNDVI（標準化された植生指数）あるいはEVI（強化された植生指数）を計算し、植物地上部のバイオマス推定ができる。NDVIやEVIから植物のバイオマスを推定するとき、大気条件や土壌の反射、太陽角度などの要因の影響を受けることは良く知られている。一方、花の有無は一部の波長の反射率に直接影響を及ぼすことがある。本研究では、花の存在がチベット高原の高山生態系のNDVIやEVIを減少させることもすでに明らかになった。従って、花の有無によって、NDVIやEVIから植物地上部のバイオマス（AGB）推定にも影響を及ぼすことがあるはずである。チベット高原は、春から秋にかけて季節ごとに様々な花が咲く。したがって、この生態系の植物バイオマスを正確に推定するため、花の影響を明らかにする必要がある。

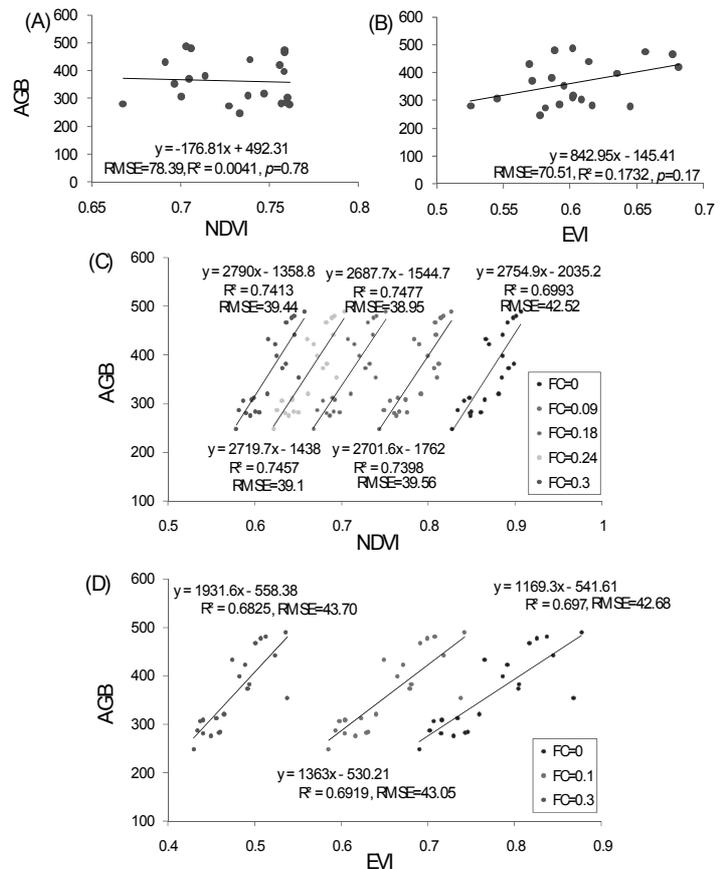


図6 地上部バイオマス（AGB）とNDVI（A、C）またはEVI（B、D）の関係。A、B：花のある植生のNDVIまたはEVIとAGBの関係を示す。C、D：左のFC=0の場合花を取り除いた植生のNDVIまたはEVIとAGBの関係を示す。左2番目から順次FC=0.1からFC=0.3までの図は、それぞれ花の被度でシミュレーションしたNDVIまたはEVIである。回帰直線はすべての場合  $n=21$ 、 $P<0.0001$ （C、D）。

そこで、本研究では、チベット高原の高山生態系を対象に、実験測定とモデルシミュレーション方法を用いて、生態系の地上部バイオマスと NDVI（あるいは EVI）の関係及び AGB の推定精度に及ぼす花の影響を明らかにすることを目指した。図 6 に示したように、まず、21 のプロットについて花のある場合の草原植生の反射スペクトルを測定し、それぞれのスペクトルから NDVI と EVI を計算した。その結果、NDVI と EVI は、いずれも植物地上部のバイオマスを正確に推定できないことが示された（図 6、A と B）。一方、同じプロットについて、花を取り除き、再び反射スペクトルを測定し、NDVI と EVI を求めた。図 6 の C、D の FC=0 のケース（図 6 C、D の左端の直線）に示したように、NDVI と EVI は地上部バイオマスを高い精度で推定できた。さらに、FC=0 の場合をベースにして、異なる割合の花をすべての 21 プロットに入れ、花の被度が変わった場合の反射スペクトルをシミュレーションした。その結果、花の反射スペクトルを考慮した NDVI と EVI は地上部のバイオマスを非常に高い精度で推定できた。

以上の結果から、以下のことが示唆された。まず、花の存在によって地上部のバイオマスを正確に推定できない。つぎに、花の反射スペクトル特徴がわかれば、今後モデルで花の影響を取り除き、正確なバイオマスの推定が可能になる。

#### （5）生態系の展葉期を予測するモデル開発

1) 多変量モデル：気温の上昇が生態系の季節相にどのような影響があるかを予測するため、まず、過去の気候変化と生態系の季節相との関係について、多変量解析を行った。これらの解析の基本モデルでは、衛星データから推定した季節相（展葉時期、落葉時期など）は目的変数で、説明変数またはダミー変数としての説明変数は、年平均気温、前年度の平均気温、降水量、サイトなどである。赤池情報量規準（AIC）を利用し、モデルの変数選択などを評価した。図 7 に示したように、衛星データから推定した展葉期は、特定サイトのサイトファクター（site factor）と前年度の年平均気温と当年の降水量から高い精度で予測できることを示した。これらの解析から、チベット高原の展葉期は主にその空間的位置（経度、緯度と標高）によって決められるが、年平均気温と年降水量などは展葉期の年変化の 30%を説明できることもわかった。

#### 2) 衛星データを利用した生態系機能とその季節相の推定モデルの開発

衛星計測データからなるべく早いうちに生態系の変化を検出することは、温暖化の早期検出と早期予測の手法開発の一つ重要な方向である。本研究では、生態系の炭素吸収機能に注目し、衛星データと炭素吸収機能の時間変動特性との関連性を解析し、衛星データから生態系機能の季節

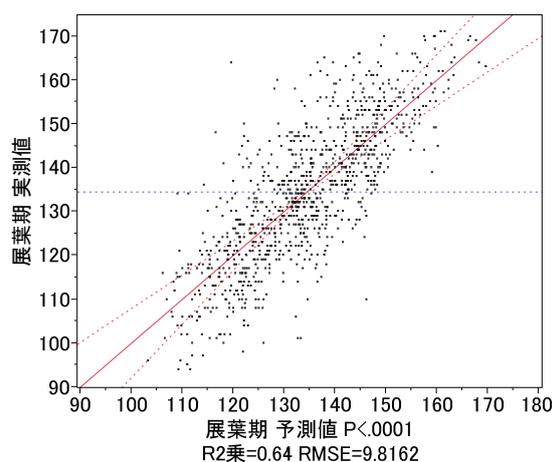


図 7 気象観測データから生態系の展葉時期を推定する多変量モデルの予測結果。展葉期（日） $=123.9442 + Sf + 4.5851 \text{ 前年平均気温} + 0.0069 \text{ 当年降水量}$ 。ここでは Sf はサイトファクターで、それぞれの地点の年平均展葉期を表す。

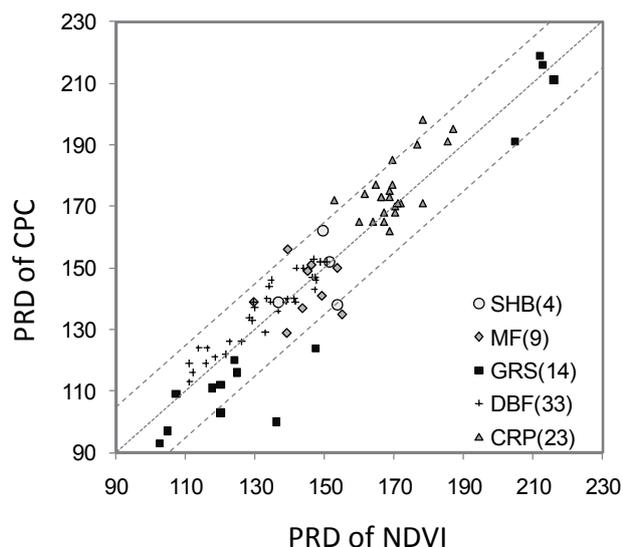


図8 現地測定した生態系光合成の回復時期（Peak Recovery Day, Day of Year）と衛星データから推定した PRD の相関。SHB は低木群落、MF は混交林、GRS は草原、DBF は落葉樹林、CRP は作物を示す。カッコ内の数字は観測点を示す。

現地観測データから推定した値と衛星データから推定した値の間に非常に高い相関が認められた。この結果は、衛星データから生態系機能の季節相の推定または予測に利用できることが期待される。この研究結果はすでに投稿した。

### 3) チベット高原全体における生態系構造と機能のシミュレーションモデル

上記1)と2)のモデル開発は、主に生態系の構造と機能の時間変動に注目したものである。本研究ではチベット高原全体について、生態系構造の指標である葉面積指数（LAI）と生態系機能（炭素フラックス）の推定と予測を行った。ORCHIDEE という地球全体の植生モデルを修正し、チベット高原に適応したモデルを構築した。その結果、LAI と炭素フラックスの時間的空間的変動は局地の観測データに高い相関を示した。また気温が 2°C 上昇した場合、LAI と炭素フラックスの予測もできた。

## 5. 本研究により得られた成果

- 1) チベット高原の気象データの収集と解析から、過去の気候変化について、（1）2004 年までの 30 年間にチベット高原全体の気温が著しく上昇し、年平均気温は年間 0.028°C 上昇したことがわかった。これは近隣地域より上昇幅が大きい；（2）年平均気温の上昇率は標高に伴う変化は少なかったが、冬季には標高の上昇に伴い気温の上昇率が低下し、逆に夏季には標高の上昇に伴い気温の上昇率が明らかに上昇することが分かった；（3）年平均気温の低いところでは気温の上昇速度が速いことが示された。
- 2) チベット高原の衛星画像の解析と上記の気象データから、以下のことが示された。（1）1983~2000 年までの 17 年間、高原全体について、標高の上昇に伴う春の展葉時期の早期化が顕著になる傾向が示された。（2）2004 年までの 30 年間の年平均気温の低いところでは、展葉時期の早期化が大きいことが示された。とくに湿潤地域では、その傾向が大きい。（3）

相の推定を行った。この研究は、二つの成果を上げた。まず、MODIS 衛星データから生態系の炭素収支の推定精度を向上するための検討を行った。その結果、MODIS データから推定した GPP が地上の測定値より低く、その原因は MOD17 の推定過程に使った最大光利用率にあることがわかった。地上測定の結果と最適化したパラメータを利用し、GPP をより正確に推定できることを示した。

次は、今年度の研究として、生態系機能の重要な指標として生態系光合成の時間変化と衛星データの時間変化の比較を行った。チベット高原のデータが限られているので、モデル検証のため各地から時系列の長いデータを利用した。図8に示したように、生態系光合成の回復ピーク時期については、現地観測データから推定した値と衛星データ

年平均気温は展葉時期の臨界気温との間に非常に高い相関が認められた。

- 3) 花は季節相の検出に極めて重要な指標となるので、衛星などの遠隔計測データから季節相を少しでも早期に検出するため、本研究では花の反射スペクトル特性と NDVI や EVI の推定との関係を検討した。主な結果として、(1) 花の存在は NDVI と EVI を低下させる；(2) この低下は植物地上部バイオマスの推定に大きく影響する；(3) 花の反射特性を測定し花の影響を取り除くことにより、地上部バイオマスを正確に推定できるモデルも開発した。これらの詳しい結果はに参照できる。
- 4) 温暖化影響が季節相や生態系に及ぼす影響を早期予測するため、モデル開発を行った。その主な結果は以下である。(1) チベット高原の気象データと衛星データから推定した展葉期は、特定サイトのサイトファクター (site factor) と前年度の気温と降水量から高い精度で推定・予測できるモデルが提示された；(2) 衛星データを利用して生態系機能の季節相を推定するモデルの開発を行った；(3) ORCHIDEE モデルを利用し、チベット高原に適応した LAI と炭素フラックスの時間的空間的変動の推定と予測モデルを開発した。また気温が 2℃ 上昇した場合、LAI と炭素フラックスの予測もできた。

## 6. 引用文献

なし (ただし、結果部分の文献は下記の誌上発表に記載)

## 7. [研究成果の発表状況]

### (1) 誌上発表(学術誌)

**【注:サブテーマ2と3の誌上発表は担当者または内容の関連性が高いため、サブテーマ2で掲載することにした。】**

### (2) 口頭発表

**【注:サブテーマ2と3の口頭発表は担当者または内容の関連性が高いため、サブテーマ2で掲載することにした。】**

### (3) 出願特許

なし

### (4) 受賞等

なし

### (5) 一般への公表・報道等

なし

### (6) その他成果の普及、政策的な寄与・貢献について

- ① 2006年国立環境研究所公開シンポジウム「アジアの環境と私たち」において、講演内容の一部として広く紹介した。
- ② 2007年3月2日に国立環境研究所において、日中共同のワークショップを開催し、これまでに得られた結果を公開した。
- ③ 2008年NHKの番組「ちょっと変だぞ日本の自然Ⅲ 風が吹けば〇〇が…大変だSP」の一部協力
- ④ 大学の講義を通じて、本研究成果の紹介・普及を行った。
- ⑤ 国際会議や外国訪問の際、本研究の成果を紹介し、高い評価を受けた。