

B-52 アジア太平洋地域における地球温暖化の局地植生への影響とその保全に関する研究

(1) モンスーンアジアにおける温暖化と ENSO の植物への影響に関する研究

研究代表者 国立環境研究所生物圏環境部 大政 謙次

環境庁 国立環境研究所

生物圏環境部 大政 謙次・戸部和夫

(委託先) 龍谷大学 経済学部 増田啓子

愛知大学 文学部 吉野正敏

平成 8～10 年度合計予算額 2,6486千円

(平成 10 年度予算額 8,752千円)

[要旨]

アジア太平洋地域、特にモンスーンアジアにおける地球温暖化と ENSO における局地植生への影響のデータ収集と解析を行なった。世界中の多くの地域は干ばつや洪水の原因となるエルニーニョ南方振動(ENSO)の挙動が 1970 年代中期以降、ラニーニャに比べて頻繁に、及びより持続するようになっている。この ENSO の挙動が、アジア太平洋地域の陸域における最近の降水量の変動や地上気温の高低の分布パターンに変化をもたらし各地で大きな影響をもたらしている。近年 ENSO の観測データも増大し解析の精度が上がってきたことにより、アジア太平洋地域に災害をもたらす異常気象と ENSO とを関連づけることが可能となった。エルニーニョ年とラニーニャ年の発生年(季節単位)を選び、ソメイヨシノの開花日の遅速の差を求めた。エルニーニョ年には 1～3 月が温暖なため早く開花するが、その正の影響は 38° N 以南で顕著であった。ラニーニャ年には東アジア全域に負の影響で北ほど偏差が大きく現れた。中国における生物季節については、我が国のソメイヨシノの開花を指標とした遅速の関係を求めた。年平均気温とソメイヨシノの開花を基準として温暖化した場合の中国における生物季節のカレンダーを作成した。

北陸地方の雪害は一般的にはエルニーニョ年にはラニーニャ年より一桁件数が少ない傾向があった。しかし、森林の雪害面積はエルニーニョ年に大となる。これは暖冬には降雪回数は少ないが湿った重い雪が降り、積もるために被害は多くなると考えられる。しかし、これは 1970 年代のことで、1980 年代になると、雪害面積が激減するので、エルニーニョ年とラニーニャ年の間に有意な差は認められなくなる。砂漠のような乾燥地域では、乾燥に対しては耐性があるが、まれに降る雨による洪水による被害が大きい。局地植生とその保全には極めて重要なことである。

【キーワード】温暖化、エルニーニョ、ラニーニャ、異常気象、植物季節

1. 序

IPCC(1995)の第二次報告書で、人間活動によって引き起こされる気候変動や地球環境問題の実態及び将来予測に関する信頼性の高い報告がされた。その中で異常気象の原因となるエルニーニョ現象等の観測・監視体制なども拡充・強化され原因究明を急ピッチで進められてはいるが、今のところ原因など不明な点が多

く、現在試みられている地球温暖化の将来予測にこのような異常気象の増加や害虫の変化を考慮するに至っていないのが現状である。1987年以降1999年半ばまでエルニーニョ現象が持続したことは過去120年間で最も異常なことで、この持続現象で世界各地では干ばつと洪水に悩まされた。近年の地球温暖化による異常気象は、植物の生存にとって重要な発芽・開花・紅葉・落葉などの季節現象、これらを総合した作物の収量に変化をもたらすばかりでなく、植生を脆弱化させ、渡り鳥の変化など動物の生存までに大きな影響を及ぼす。

2. 研究目的

東アジアから東南アジアにおけるモンスーンアジア地域では、温暖化に伴い、モンスーンの発生状態や強さ、期間などが、地域的に変化する。特に、エルニーニョやラニーニャ(ENSO)との関係は重要で、IPCC(1995)の報告でも、このことが指摘されている。地球温暖化は、局地気象に様々な影響を及ぼし、植生を脆弱化させる。このことは、植生が炭酸ガスの吸収源としての機能を失うだけでなく、多様な生物の生息場を失うことを意味する。これらの脆弱な植物への影響予測を行なうだけでなく、温暖化の指標として、植生の脆弱化や生理生態学的な変化を利用した評価法の確立が望まれている。特に開花や紅葉、生殖成長(作物収量を含む)といった生物季節の変化は、指標として有望であるが、局地的な環境変化の指標として検出することを目的とする。温暖化影響とモンスーンやENSOなどによる局地的な異常気象との関係における研究は、重要であるにもかかわらず十分に行われていないのが現状である。

3. 研究方法

1) ENSO(El Niño: Southern Oscillation)の挙動を、エルニーニョ年とラニーニャ年の顕著な年を選び出し、それぞれの合計値または平均値を求めて比較した。その場合、選び出す年が多少異なる。また、エルニーニョの発生から終息までの持続期間を始め、その間の海水温の上昇の程度などにより影響を及ぼす地域や程度が異なることが明らかになった。

2) 東アジアにおける日本・中国・韓国のサクラの開花日の均一なデータベースを構築した。a) 東アジアにおける桜の開花日の地理的分布の特徴を把握する。b) 各観測地点における桜の開花日と緯度・経度・海拔高度との関係を実験式で求め、Hopkins(1938)の季節現象の生気候学的法則が東アジアにも適応できるかどうか検証を試みた。c) 植物の開花に密接に関係している冬・春の気温との関係を適量的に考察した。d) 桜の開花といった季節現象を用いてエルニーニョ年とラニーニャ年で比較し、地球規模の異常気候がアジア太平洋地域での局地植生にもたらす影響を調べた。

3) 冬から春にかけての生物季節現象の変動と年平均気温との関係を実験式で求めた。植物季節現象と併せて、動物季節現象も地球温暖化による影響が大きいことを検証した。

4. 結果と考察

4.1 エルニーニョとラニーニャ年

(1) エンソ・イベントの定義及びその長期変動

エンソ(ENSO)とはエルニーニョ(El Niño)とサーザンオシレーション(Southern Oscillation 南方振動)をつなげた呼び名である。ペルー沖の湧昇地域で、海底から冷たい海水が表層に昇ってくる。毎年クリスマス前後と赤道太平洋域で南東貿易風が一時的に弱まり、沿岸の湧昇流が弱まり、赤道逆流系の暖かい南下流で海水温が2~3℃上昇する。この現象を元来はエルニーニョと呼んだ。しかし、最近では、この本来のものと区別するために、エルニーニョ・イベントと呼ぶ。エルニーニョ・イベントと

毎年起こるエルニーニョとは発生機構が異なる。その機構は次の通りである。1)熱帯の中央太平洋上における強い貿易風によって大量の暖水が西部太平洋へ集積する。2)貿易風が弱まると暖水層を維持できなくなり断水域が東へ移動する。3)その結果、東部では暖水の厚さが通常より厚くなり、そのために冷水の湧昇流が抑えられ平年よりも高い水温となり、長期間にわたって高い水温偏差が続く。つまり、大気の動きと密接に関係しており、この貿易風の強弱が左右される。原因を解くカギも貿易風の強弱にある。

サザン・オシレーションとは高水温域で上昇気流があり、低水温域で下降気流がある東西方向の循環系のことである(図1)。エルニーニョ・イベントと、サザン・オシレーションとは一体をなす一連の現象なので、2つを連結して頭文字をとってエンソと呼ぶ。本稿では、エンソ・イベント、エルニーニョ・イベントなどの言葉を使うが、同じ意味を示す語として扱う。ラニーニャ・イベントを反エンソ・イベントと呼ぶもともある。

エンソの指標としてタヒチとダーウィン(オーストラリア)の地上気圧偏差の差を今世紀においてはエルニーニョは23回(約30%)、ラニーニャは15回(約20%)発生し、規模の大きいもののベスト10のエルニーニョの上位4回は1980年以降に起きている。特に大規模な1982/83年のエルニーニョ現象が生じた後、1987年以降頻繁にエルニーニョ現象が発生しており、97/98年エルニーニョは最大の規模となった。

太平洋赤道域を4つの海域に分け、1980年以降の海面水温偏差(°C)の変動を図2に示す。B海域(40N-40S,90W-150W)月平均海面水温の5ヶ月移動平均が平年偏差0.5°C以上高い状態が6ヶ月以上続

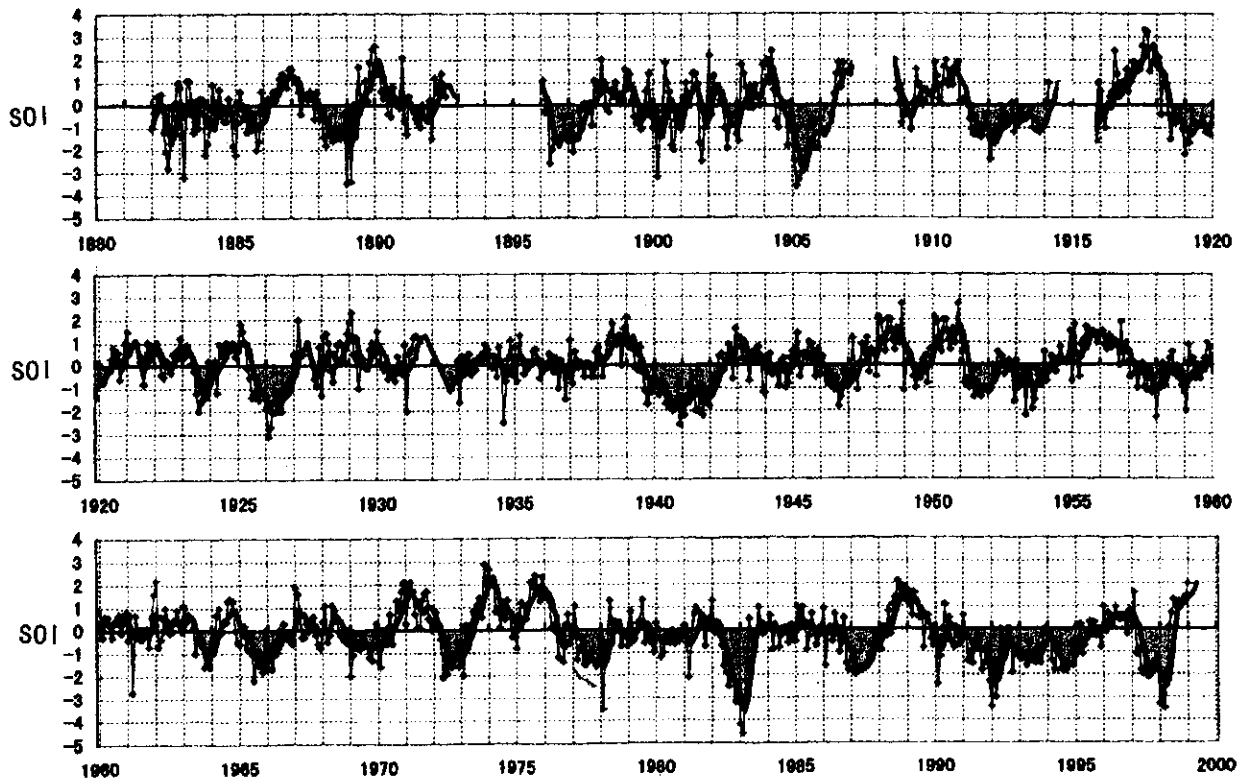


図1 南方振動指数(SOI)の時系列(1882~1999年)

いた現象をエルニーニョと扱うと、1997/98年のエルニーニョ年はB海域で97年の3月に平年より高くなり始め、8月に+3°Cを超え12月に+3.92°Cを示し、観測史上最高の値を示し、次いで、1982/83年の3.6°C高いエルニーニョを示した。

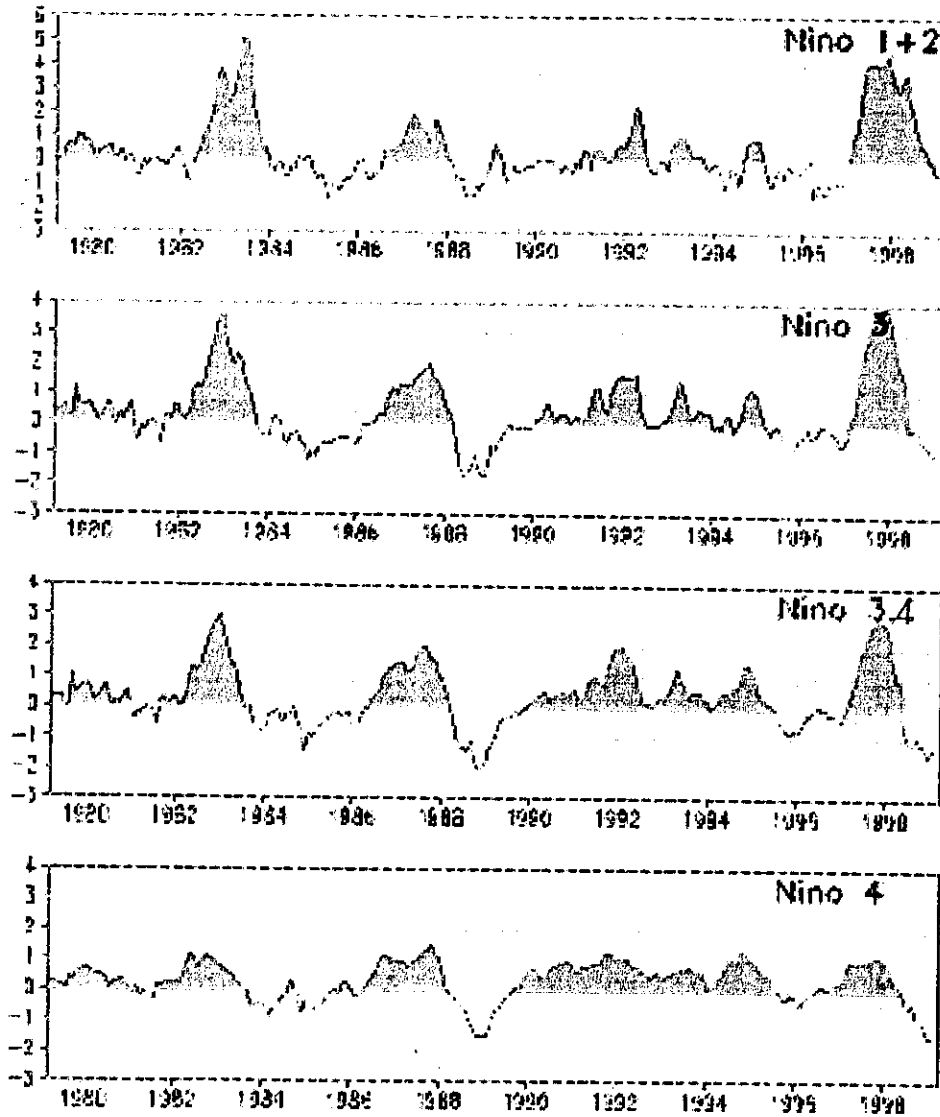


図2 太平洋赤道域の月平均海面水温平年偏差(C)

海域を4つ上から [Niño 1+2 (0-10S,90W-80W)、Niño 3 (5N-5S,150W-90W)、Niño 3,4 (5N-5S,160E-90W)、Niño4 (5N-5S,160E-150W)] に分け、それぞれの平年偏差を示す。

最も東の海域 (Niño1+2) で見ると 1982/83年が最高で+5°Cを越し、次いで、1997/98年に+4.48°C、1950年以降に海面水温が2°C以上の高偏差になった年は、1957、1965、1972、1976、1987、1992年である。モンスーンアジアと近いニーニョ4の海域では、偏差1.5°Cまであり、1976年のピークがはっきりせず、1991前後もまたピークが顕著でなく、高偏差が継続している。エルニーニョ・イベントの反

対、つまり水温偏差が負の場合をラニーニャ・イベントと呼ぶ。

本稿では、エルニーニョ・イベント、ラニーニャ・イベントの顕著な年を選び出し、それぞれの合成値をまたは集計値か平均値を求めて比較する方法をとった。その場合、地域により、現象により、選び出す年が多少異なる。それは、次項に述べるように、赤道地方の海面水温の異常が低緯度と中緯度の循環系を通じて乾湿・寒暖の異常に至る過程にそれぞれ遅れがあること、海面水温の偏差の程度に差があること、その偏差が発生する月、収束する月に差があること、持続する期間に差があることなどから、結果として生じる季節現象の異常・農作物生育の異常・災害の発生の異常に差が生じる。従って、現象により、地域により、また年（場合）により、異なった年を選び出した理由である。また、言うまでもなく、必要とするデータが得られる年が場合によって異なることも理由である。

また、エルニーニョの発生から終息までの継続期間を始め、その間の海水温の上昇の程度などにより影響を及ぼす地域や影響の規模に差があることから、SOI の偏差の変動曲線の解析を行ったものを図3に示す。a)SOI が春にマイナスを示すようになり、翌年の春までマイナスが続き、東風が弱まる場合、b)継続期間は同じ傾向であるが、その指数が非常に大きな 82/83 年、97/98 年のような場合、c)開始時期と終息時期がずれている場合、d)継続時間が非常に長い場合などに分けることが出来る。このようにエルニーニョの規模による影響研究へと発展していきたい。

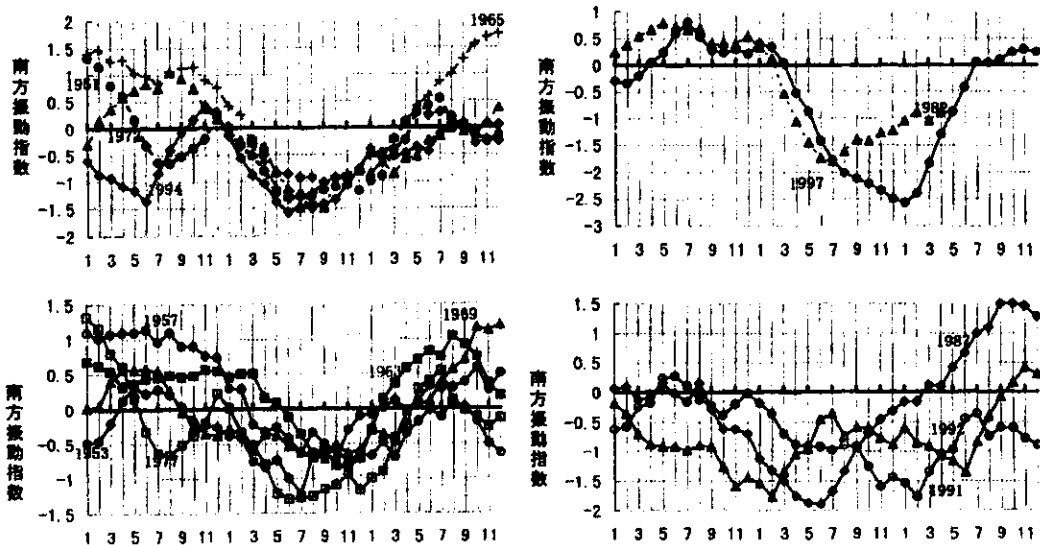


図3 エルニーニョの規模（開始時期、終息時期、継続期間、SOI 指数の大きさ）による分類

(2) エルニーニョ年とラニーニャ年の差

これまで調査されている限りでは、エルニーニョ年とラニーニャ年の振動変動・農業生産・自然災害に及ぼす影響はかなりはっきりとした差がある。例えば、春の気温を反映しているソメイヨシノの開花はエルニーニョ・イベント年には早い。また、自然災害のうち初夏の梅雨・台風・秋霖季を代表してい

る風水害はエルニーニョ・イベント年には明らかに多い。これは活発な前線活動・熱帯低気圧の来襲などと我が国の位置と寒帯前線帯の位置とが関連していると思われる。一方、冬には暖冬で雪害は極めて少ない。以上の結果は、ラニーニャ・イベント年には全く正負、高低、遅速、多少、増減が逆になる。従って季節別にまた対象別に、さらに季節学的詳細な検討を種々の現象について行うことが必要であると指摘されている。

4.2 季節現象に及ぼす温暖化の影響

(1) これまでの研究と本研究の目的

近年の地球温暖化による地球規模の異常気象は、植物の生存にとって重要な発芽・開花・紅葉・落葉などの季節現象、これらの総合である作物の収量変動をもたらすばかりでなく、渡り鳥数の変化など動物の生存にまで大きな影響を及ぼす。特に、エルニーニョは赤道太平洋を中心とした現象であるが、モンスーンアジアにおける異常気象にも大きな影響を及ぼす。すなわち、低緯度では雨季・乾季の長さや雨量の異常に、中緯度ではモンスーン循環の異常を通じて寒冷・温暖・湿潤・乾燥に異常をもたらす。この異常気象が原因となって、植物季節現象の異常や農作物の減収・増収、洪水・干ばつなどの自然災害の異常が生じることが指摘されている（朝倉,1990；Yoshino and Park Ono, 1996）。日本における平均気温 1～3℃上昇した場合の桜の開花日などの生物季節現象の予測を行った。さらに、エルニーニョ・イベント年とラニーニャ・イベント年との差を、南大東島のサトウキビの収穫面積、インドネシアの乾季と雨季、インドネシアの農作物収量と生産について明らかにした。

東アジアの日本・韓国・中国の桜の開花日の均一なデータの収集によるデータベースを構築し、次のような研究を行った。

- (1) 東アジアにおける桜の開花日（平均・早咲き・遅咲き）の地理的分布の特徴を把握する。
- (2) 各観測地点における桜の開花日と緯度・経度・海拔高度との関係を示す実験式を作り、Hopkinsの季節現象の生気候学的法則（Hopkins, 1938）が東アジアにも適応できるかどうか検証する。
- (3) 植物の開花に密接に関係している冬・春の気温との関係を定量的に考察する。
- (4) 桜の開花といった季節現象を用いて、エルニーニョ・イベント（エルニーニョ・イベント）年とラニーニャ・イベント年で比較し、地球規模の異常気候がアジア太平洋地域での局地植生にもたらす影響を調べる。IPCCの1998年のRegional Reportでも指摘している通り、地球温暖化と季節現象の研究は特に東アジアでは重要なデータである（Yoshino et al., 1998）。

ソメイヨシノの開花日については、我が国では古くから多くの研究が行なわれている（中原, 1969; Yoshino, 1974; 河村, 1982; Park et al., 1993）。これらの研究により、春にソメイヨシノの開花日の等期日線が南から次第に北上し、これを桜の開花前線と呼び、九州・四国の南部では3月25日ごろから北海道では5月5日以降の開花まで1ヶ月以上の差が出ることが知られている。図4には我が国における1961-90年の年平均気温とソメイヨシノの平均開花日を示す。この南から北までの年平均気温の気温差は年平均値で約10℃の温度差を示す。つまり、年平均気温が1℃上昇すると約3~4日早く開花することから南から北まで1ヶ月かかるのである。

(2) 東アジアにおけるソメイヨシノの開花日

日本の64カ所、韓国22カ所、中国17カ所の1953年から1989年までの桜（ソメイヨシノ；*Prunus yedoensis* Matum）の開花日と1、3月の平均気温を用いて統計解析を行なった。中国における長期の

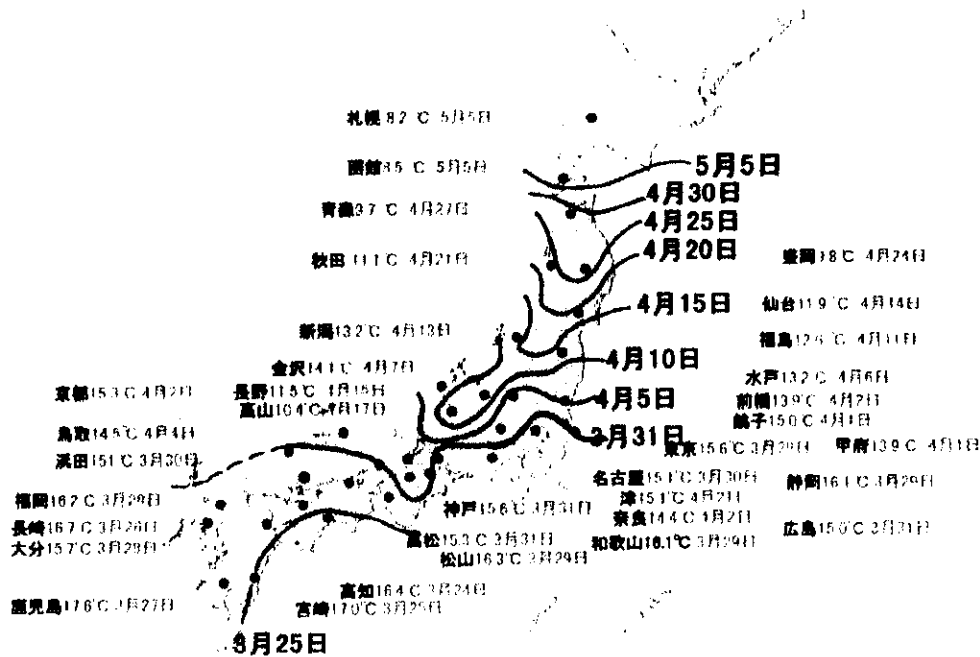


図4 我が国における 1961-1990 年の年平均気温とソメイヨシノの開花日の平年値

桜（ソメイヨシノ）の開花日のデータが揃っている観測地点が 8 地点であったため、統計処理はこれらの地点を中心に行なった。その際、桜（ソメイヨシノ）の開花日は 1 月 1 日を 1、1 月 2 日を 2・・・と起算日とした。

図5は、東アジアにおけるソメイヨシノの平均開花日の分布図である。開花前線が 3 月下旬から 5 月下旬にかけて、等期日線が緯度に平行して南から北へ移動して行くことが分かるが、北緯 35° 付近が 90-95 日（3 月 30 日-4 月 5 日）、北緯 40° 付近が 110-115 日（4 月 20 日-25 日）となる。ソメイヨシノの開花日は山岳地域を除いて北緯 1° 北上するにつれて約 5 日くらい遅れる傾向を示す。

(3) 東アジアにおけるソメイヨシノの開花日の生気候学的法則

Hopkins (1938) は、北米の春の季節現象を、緯度 1° N、経度 5° W、海拔高度 400 フィート (100m に 3.3 日) 毎に平均 4 日の割合で現す生気候学的法則を見出した。中原 (1969) や甲斐・甲斐沼(1996) は、Hopkins の生気候学的法則を日本におけるソメイヨシノの開花日に適応し、次のような重回帰式を現している。

$$y = a + b (\phi - 35^\circ) + c (\lambda - 135^\circ) + d h \tag{1}$$

ここでは、y はソメイヨシノの開花日、φ は緯度(° N)、λ は経度(° E)、h は海拔高度(100m) である。式(1)のように、中原は、明石(35° N, 135° E) を基準とした値で統計析を行なっているが、本研究のように東アジアのようなスケールの大きい地域に適用する際に、基準点をどこにするかは大きな問題となる。そこで、日本における観測地点の地理的指標の絶対値で計算した場合と明石を基準値として修正した値で計算した場合の差を比較し、両者の間に有意な差が出るかどうかを検討した。

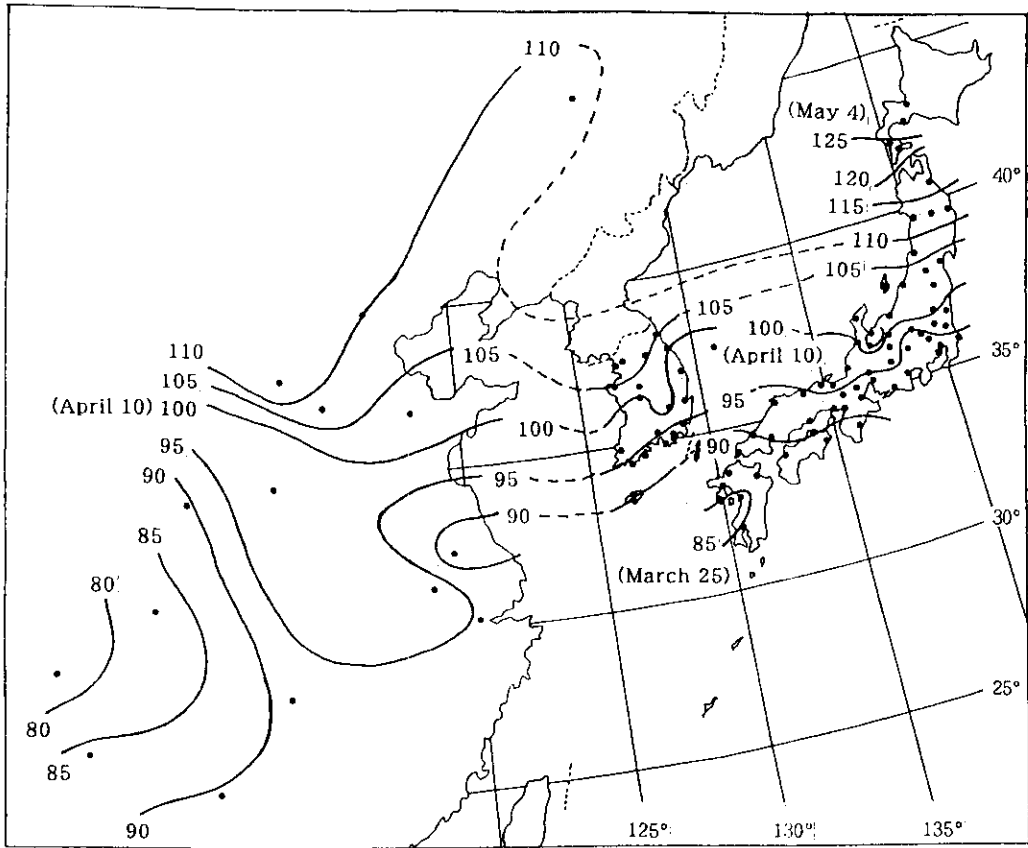


図5 東アジアにおけるソメイヨシノの平均開花日の分布図

使用したデータは次の通りである。

y : ソメイヨシノの平均開花日

n : 緯度 (° N)

e : 経度 (° E)

h : 海拔高度 (100m)

ϕ : $(n - 35^\circ \text{ N})$

λ : $(e - 135^\circ \text{ E})$

まず、y、n、e、hを用いて計算すると、有意水準 99.9%で

$$y = 7.683 + 4.793n - 0.614e + 0.012h \quad (R^2 = 0.932) \quad (2)$$

となる。

次にy、 ϕ 、 λ 、hを用いて計算すると、有意水準 99.9%で

$$y = 92.602 + 4.793\phi - 0.614\lambda + 0.012h \quad (R^2 = 0.932) \quad (3)$$

となり、式(2)と式(3)より係数が同じであることが確認された。

なお、式(2)より、

$$\begin{aligned}
y &= 7.683 + 4.793 (n - 35 + 35) - 0.614 (e - 135 + 135) + 0.012 h + 4.493 \times 35 \\
&\quad - 0.614 \times 135 \\
&= 7.683 + 4.793 (n - 35) - 0.614 (e - 135) + 0.012 h + 4.493 \times 35 \\
&\quad - 0.6 \times 135 \\
&= 92.548 + 4.793 (n - 35) - 0.614 (e - 135) + 0.012 h \quad (4)
\end{aligned}$$

となる。

式(3)と(4)を比較すると、全ての係数は同じ値で、切片もほぼ同値を示す。従って、明石を基準とした修正値を使っても、観測地点の地理的指標の絶対値を使っても全く同値であること、また、甲斐・甲斐沼(1996)の102地点の絶対値を用いた式 $y = 3.201 + 4.746 \phi - 0.572 \lambda + 0.012 h$ ($R^2 = 0.929$)ともほぼ同じ係数であったことが分かったので、本研究は観測地点の地理的指標の絶対値を用いた統計解析を行った。

式(2)を用いて、日本(64地点)は有意水準99.9%で

$$y = 7.683 + 4.793 n - 0.614 e + 0.012 h \quad (R^2 = 0.932) \quad (5)$$

(または 92.548)

韓国(22地点)は有意水準99.9%で

$$y = 167.8 + 3.694 n - 1.596 e + 0.017 h \quad (R^2 = 0.898) \quad (6)$$

日本、韓国、中国を含む東アジア(94地点)は有意水準99.9%で

$$y = 80.81 + 3.220 n - 0.747 e + 0.026 h \quad (R^2 = 0.635) \quad (7)$$

となる。中国は、長期間のデータがある観測地点は8地点で重回帰式を作成するのに無理があったが、式(7)を用いて中国を含む東アジアの特徴を考察することは可能である。

式(7)から、東アジアにおけるソメイヨシノの平均開花日は、緯度 1° N に 3.2 日(高緯度ほど遅咲き)、経度 1° E に -0.75 日 (5° E に -3.75 日; 西ほど遅咲き)、海拔高度 100m に 2.6 日(海拔高度が高いほど遅咲き)の割合で表現する生気候学的法則を見出すことができた。本研究の結果を、北米の春の季節現象が、緯度 1° N、経度 5° W、海拔 400 フィート(100m に 3.3 日)毎に平均 4 日の割合で変化する Hopkins (1938) による生気候学的法則と比較すると、ソメイヨシノの平均開花日からみた東アジアの春の季節現象は、北米の比べて緯度別に 0.8 日、経度別に 0.2 日、海拔高度別に 0.7 日早く進む傾向が見られた。

(4) ソメイヨシノの開花日と冬・春の気温との関係

ソメイヨシノの開花日は、開花の前の約 60 日間の積算気温と密接な正の相関があることが大野(1988)によって指摘されている。大政ら(1992)は、ソメイヨシノの開花日と寒冷指数(CI)と密接に関係しており、特に、3月の平均気温と良い関係があることを統計モデルを用いて分析した。Park et al. (1993)はソメイヨシノの開花日が冬と春の1、3月の平均気温と非常に良い正の相関があること、ソメイヨシノ

の春の気温だけでなく、植物の休眠期に当たる冬場の気温とも密接に関係していることを指摘した。

そこで、ソメイヨシノの平均開花日 (y) と 1、3 月の平均気温 (T_1 、 T_3) との関係について次のような回帰式を用いて考察した。

$$y = a + b T_1 \quad (8)$$

日本の場合は、有意水準 99.9%で

$$y = 106.479 - 3.243 T_1 \quad (R^2 = 0.789) \quad (9)$$

$$y = 119.656 - 3.555 T_3 \quad (R^2 = 0.863) \quad (10)$$

韓国の場合は、有意水準 99.9%で

$$y = 97.333 - 1.600 T_1 \quad (R^2 = 0.749) \quad (11)$$

$$y = 116.656 - 3.175 T_3 \quad (R^2 = 0.931) \quad (12)$$

日本、韓国、中国を含む東アジアは、有意水準 99.9%で

$$y = 102.885 - 2.097 T_1 \quad (R^2 = 0.446) \quad (13)$$

$$y = 114.854 - 2.569 T_3 \quad (R^2 = 0.428) \quad (14)$$

となる。中国は長期間の観測地点データが 8 地点しかなく、回帰式を作成するのが無理であったが、式 (13)と(14)を用いて中国を含む東アジアの特徴を考察することは可能である。

日本 (式(9)と(10)) 及び韓国 (式(11)と(12)) のみの統計結果に比べて中国を含んだ東アジア全体の場合は決定係数の値は低くなるが、傾向を表すことができる。即ち、3 月の平均気温が 1°C 上昇すると、ソメイヨシノの平均開花日が約 2.6–3.2 日早くなり、1 月の平均気温が 1°C 上昇するとソメイヨシノの平均開花日が約 1.6–3.2 日早くなる。特に、日本の場合は、ソメイヨシノの平均開花日が、東アジア全体の他の地域よりも、1 月と 3 月の両方の平均気温に敏感に反応しており、韓国の場合は、1 月より 3 月の平均気温により敏感に反応していることが分かった。さらには、我が国における 1,3 月平均気温に敏感に反応すると同時に年平均気温との相関係数が高いということも分かった。

(5) 我が国の年平均気温と生物季節現象及び生物季節現象間の関係

(a) 春の生物季節 (開花・初見・初鳴き) 現象

我が国における動物を含む生物季節と年平均気温との関係式を求めた。まず、春を代表するソメイヨシノの開花を含む春の生物季節との年平均気温との関係を図 6 に示す。年平均気温が上昇すると春の動物を含む生物季節現象の現れ方を見ることができる。例えば、現在の仙台の気温が 1°C 上がると現在の水戸くらいの生物季節現象が現れることを意味する。ウメにウグイスと言われるのは年平均気温約 $9\sim 13^\circ\text{C}$ の地域でのことであろう。ウグイスの初鳴きから遅れること約 10 日、モンシロチョウの初見、その後ツバメの初見、それから数日でソメイヨシノの開花が見られるようになる。生物の種類によって気温に反応する速度がそれぞれ異なり、早い春の季節現象ほど 1°C の気温に敏感に反応する。

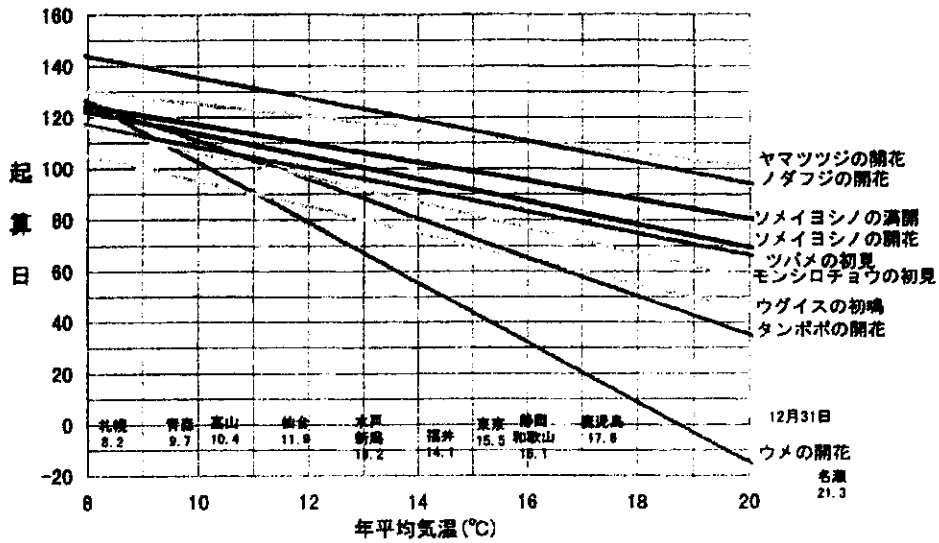


図6 我が国における年平均気温と春の生物季節現象との関係

(b)夏から秋の植物季節現象

夏から秋にかけての植物季節現象を図7に示す。年平均気温 17.6°C（現在の鹿児島）の地域でサルスベリの開花日を迎え、年平均気温 1°C上昇すると 3.6 日早まり、年平均気温が 9°Cを超える（現在では青森）228~229 日頃からススキの開花が寒い地域から始まり、サルスベリとススキの開花が同時に始まる。年平均気温が 1°C上昇するとサルスベリの開花とちょうど逆の 3.6 日遅くなっていく傾向を示し、年平均

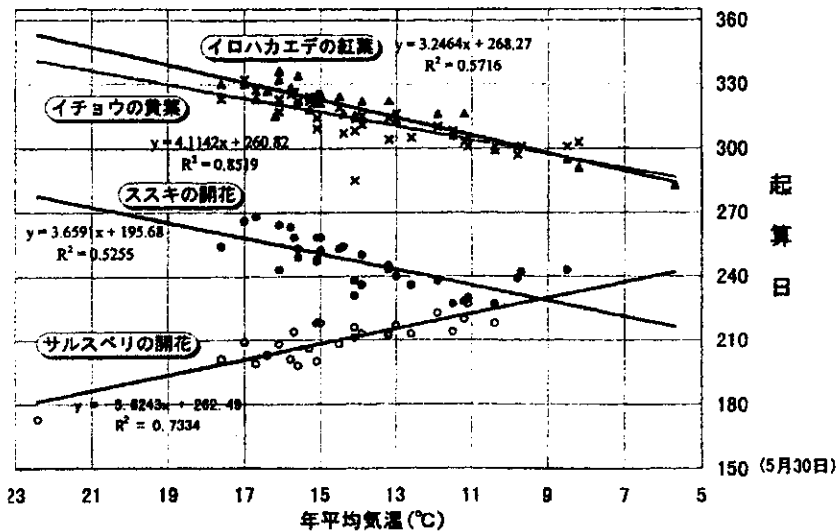


図7 我が国における夏から秋の生物季節現象と年平均気温との関係

気温 15°C の地域では約 42 日 (約 1 ヶ月 10 日)、17°C の地域では 57 日 (2 ヶ月弱) の生物現象が現れる。つまり、平均気温が 1998 年のように 1°C 以上上昇すれば、サルスベリの開花が早まり、ススキの開花、イチョウの黄葉、イロハカエデの紅葉や落葉などは遅くなる。イチョウの黄葉やイロハカエデの紅葉は年平均気温が 9°C で 297 日頃にススキの開花から 69 日遅れて始まり、17°C では 65~73 日遅れて始まる。この図から年平均気温が予測できれば、生物季節現象も予測できる。

(6) ソメイヨシノの開花日を基準とした中国の植物季節 (開葉・開花・果熟)

中国における生物季節データの 1979 年~1988 年の 10 年のデータによる解析と張 (1995) による生物季節と年平均気温との関係を回帰式を用いて、ソメイヨシノの開花と檜柏の開葉、毛桃の開葉・開花、刺槐の開葉の季節現象が年平均気温との関係を図 8 に示す。

ソメイヨシノの開花に比べ、檜柏の開葉は年平均気温が同じ 10°C の中国で 6 日前から、札幌でソメイヨシノの開花の 3 日後に瀋陽で檜柏の開葉が始まる事が分かる。年平均気温が 16.6°C の地域でソメイヨシノの開花や檜柏の開葉が 3 月 24 日頃同時に始まる。ここで、ソメイヨシノの開花日 (平均気温と最も相関が高い) を基準にして年平均気温の上昇に伴う季節現象の差 (ソメイヨシノの開花から何日前、何日後) を求め、図 9 に示した。例えば、中国における垂柳の開葉、檜柏の開葉、垂柳の開花 (その他、図中には示していないが、年平均気温が 23°C より低い地域では楡樹開花、毛桃開花、山桃開花、杏樹開花、桂花開葉など) はソメイヨシノの開花日より早く季節現象を迎え、年平均気温 13°C (ソメイヨシノの開花日が 4 月 10 日頃) の地域で垂柳開葉は 17 日前、檜柏開葉、垂柳開花は 10 日前に、檜柏の開花は 2 日前に始まる。

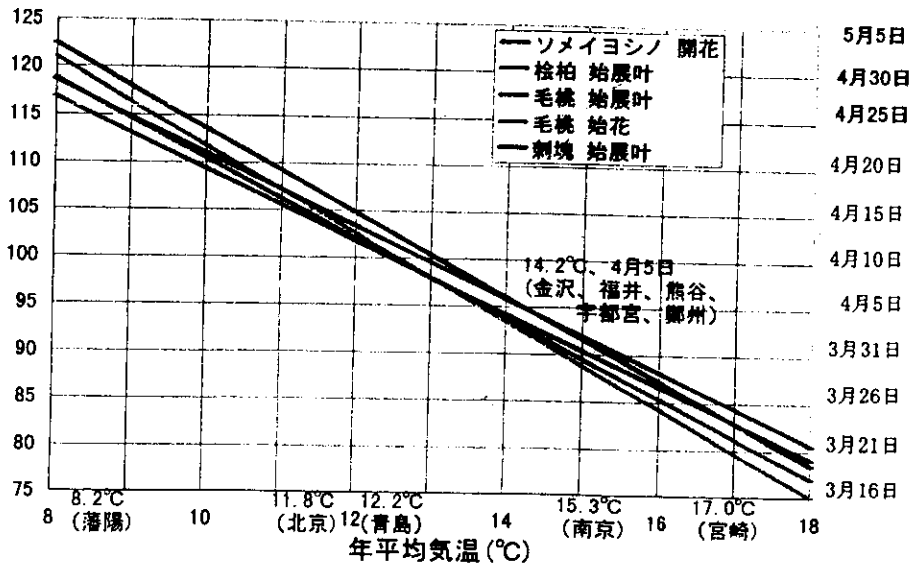


図 8 ソメイヨシノの開花と春の中国の植物季節との関係

まず、どの年平均気温の地点を基準にするかを定め、各種の植物季節現象がいつ頃始まるのか、また、何日遅れたり速まったりするかを見ることが出来る。例えば年平均気温が15℃前後の南京(32° 00)、上海(31° 10)の榆樹開花が3月12日、山桃の開花が3月20日、檜柏の開花が3月24日と分かり、例えば同じ年平均気温15℃になる東京ではソメイヨシノの開花日は4月1日ごろであるが、東京の平均気温が仮に1℃高ければ3月28日、2℃高ければ3月24日頃の開花となる。逆の見方もできる。ソメイヨシノの開花後、年平均気温別の地域で何日にどの生物季節現象が現れるかをみることもできる。

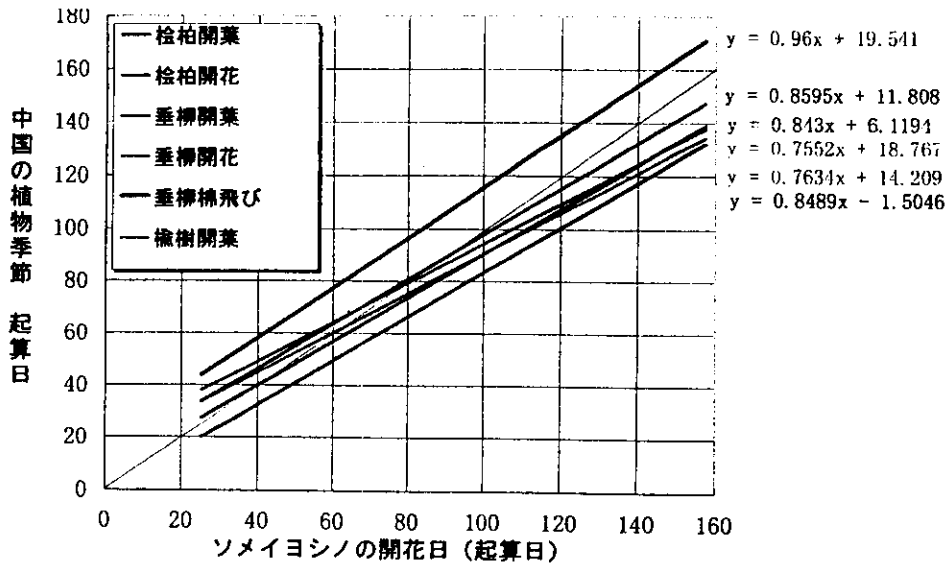


図9 ソメイヨシノの開花を基準とした中国の植物季節の遅早日

5. 本研究により得られた成果

これまで解明されなかった地域、日本、韓国、中国を含む東アジア地域における季節現象の中で、ソメイヨシノの開花日の均一なデータベースを構築し、近年の地球温暖化に伴う異常気象が局地植生へ及ぼす影響をエンソとソメイヨシノの開花日とを関連づけて考察した。

まず、東アジアにおけるソメイヨシノの開花日の地理的分布の特徴を把握した。ソメイヨシノの開花前線が3月下旬から5月上旬にかけて、等期日線が緯度に平行して南から北へ、東から西へ、低いところから高いところへと移動していくことが分かった。

次に、各観測地点におけるソメイヨシノの開花日と緯度、経度、海拔高度との関係を示す実験式を作り、Hopkins(1938)の季節現象の生気候学的法則が東アジアにも適応できるかどうか検証した。その結果、ソメイヨシノの平均開花日から見た東アジアの季節現象は、北米に比べて、緯度別に0.8日、経度別に0.2日、海拔高度別に0.7日早く進む傾向が見られた。

さらに、植物の開花に密接に関係している冬・春の気温との関係を定量的に考察した。ソメイヨシノの開花日は、1月、3月の平均気温と密接な正の相関関係を持つ。特に3月の平均気温が1℃高くなると、ソメイヨシノの平均開花日が約2.6~3.6日早くなり、1月平均気温が1℃高くなると、約1.6~3.2日早くなる傾向を示した。

最後に、ソメイヨシノの開花といった季節現象を用いて、エルニーニョ年とラニーニャ年を比較した。エルニーニョ年はほとんどの地域でソメイヨシノの開花日が早くなり、ラニーニャ年にはほとんどの地域で遅くなるのが極めて明瞭の現われた。異常気候が局地植生の季節推移に多大な影響を及ぼすことが分かった。

6. 参考文献

- 朝倉正(1990):異常気象と環境破壊。読売新聞、230p.
- Hopkins, A.D. (1982): Bioclimatics- A science of Life and Climate Relations, United States, Department of Agriculture, Miscellaneous Pub. No.280, 187p.
- 甲斐啓子・甲斐沼美紀子(1996):温暖化が日本の植物季節分布に及ぼす影響の予測。環境庁環境研究総合推進費終了研究報告平成5～7年度。41-56.
- 河村武(1982):季節現象の観測と気候の解明への応用。天気、29(5)、559-574.
- Nakahara, M. (1969): Climatological Study on Japanese Phenology. Reports of Department of Horticulture, Chiba University, 17, 89-113.
- Omasa, K., Morita, T., Masuda, K. and Kainuma, M. (1992): Study on the Effects of the Plants according to the Global warming. Reports on the Global Environmental Studies(1). Environment Agency of Japan, 307-311.
- Park Ono, H. S., Kawamura, T. and Yoshino, M. (1993): Relationships between Flowering Date of Cherry Blossom (*Prunus yedoensis*) and Air Temperature in East Asia. Proc. of the 13th Inter. Cong. of Biometeorology, Calgary, 207-220.
- Yoshino, M. (1974): Agricultural climatology in Japan. In: Agricultural Meteorology of Japan, Univ. Tokyo Press, Tokyo, 11-40.
- Yoshino, M. and Park Ono, Hye-Sook (1996): Variations in the plant phenology affected by global warming. In: Climate Change and Plants in East Asia, ed. by K. Omasa et al., Springer Verl., Tokyo 93-107.
- Yoshino, M. and Su, Jilan (1998): Temperate Asia. In: The Regional Impacts of Climate Change. Published for IPCC. ed. by R.T. Watson, et al., Cambridge Univ. Press, 517p., 355-379.
- 張 福春(1995):気候変化对中国木本植物物候的可能影響。地理学報、50(5)、402-410.

[研究成果と発表状況]

(1) 口頭発表

- ①甲斐啓子(1997)京都における生物季節と穀物生産の変動。日本農業気象学会・日本生物環境調節学会合同大会
- ②朴 恵淑・吉野正敏(1998)エルニーニョと東アジアの植物季節。第28回気候影響・利用研究会

(2) 論文発表

- 甲斐啓子(1997):「気候変化予測とその問題点」日本農業気象学会気候変化影響研究部会、第6回研究会講演論文集、1-7。
- 甲斐啓子(1997):自然・人への影響予測「地球温暖化と日本」(編)西岡秀三、原沢英夫
- 甲斐啓子(1998): ENSO と近年の異常気象・気象災害との関係。気候影響・利用研究会会報 (Japanese

- Study Gourp for Climate Impact and Application Newsletter), 第 14 号, 17-19.。
- 甲斐啓子(1998):伝染病・健康に及ぼすエルニーニョの影響。気候影響・利用研究会会報(Japanese Study Gourp for Climate Impact and Application Newsletter)第 14 号, 63-65.。
- 甲斐啓子(1998):温暖化と花暦。環境技術, 27(3), 230 - 231.
- 甲斐啓子(1998):最近のエルニーニョ現象とその影響。龍谷紀要, 20(1), 131-144.
- 甲斐啓子(1999):人間社会におけるエルニーニョの影響。「エルニーニョと地球環境」, 印刷中
- 甲斐啓子(1999):生物季節による温暖化の影響と検出。地球環境, 4(1), 投稿中
- 清野 裕・甲斐啓子・太田俊 二・菅野洋光・山川修治(1998):IPCC 報告(1996)をめぐって。気候変化影響研究部会概説。農業気象, 54(2), 179-186.
- 吉野正敏(1996):エルニーニョと日本の自然災害。災害の研究 27, 1-16.
- 吉野正敏(1997):エルニーニョと日本の自然災害の局地性。災害の研究 28, 27-43.
- 吉野正敏(1999):モンスーンアジアの環境変化と稲作社会。地理学評論, (投稿中)
- Yoshino, M.(1997): ENSO and its impacts on agricultural production and population: An Indonesian examples. In: Climate and life in the Asian Pacific. ed. by K.U. Sirinanda, Univ. Brunei Darussalam, 251-254.
- Yoshino, M. (1997): Impacts of ENSO on agricultural production, meteorological disasters and phenology in Asia: Some examples. Proc. 28th IGC, Ses. Climatolory, The Hague, Aug. 5-7, 1996, 97-110.
- Yoshino, M. (1998): Deviation of catch in Japan's fishery in the ENSO years. Climate and Environmental Change, Evora, Portugal, 24-30 Aug., 1998, 189.
- 吉野正敏(1998):千葉県漁獲高に及ぼすエルニーニョの影響。環境情報研究, 6, 15-23.
- Yoshino, M. and Su, Jilan (1998): Temperate Asia. In: The Regional Impacts of Climate Change. Published for IPCC. ed. by R.T. Watson, et al., Cambridge Univ. Press, 517p., 355-379
- Yoshino, M. (1999): Climate Change over the Pacific Ocean and the Seas in East Asia. In: Marine environment, the Post, Present and Future, Kaokshung, Taiwan, Jan. 1999, 12p.+10figs.