信州大学教育学部附属志賀自然教育研究施設研究業績　43：13—16（2006）

＜短報＞

志賀高原における温暖化の植物季節への影響
—1986-2004年の定点写真からのダケカンバの開葉日・黄葉日の年変動—

渡辺隆一*・大久保明紀子**・井田秀行***

Effects of global warming on leaf phenology of *Betula ermanii* in Shiga Heights, central Japan.
Ryuichi WATANABE*, Akiko OHOKUBO** and Hideyuki IDA*** (*Faculty of Education, Shinshu University, Nagano 380-8544, Japan. e-mail: wataryu@shinshu-u.ac.jp, **Fukushima Elementary School, Kiso-machi, Nagano 397-0001, Japan, ***Institute of Nature Education in Shiga Heights, Faculty of Education, Shinshu University, Shigakogen, Yamanouchi-machi, Nagano 381-0401, Japan).
Bulletin of the Institute of Nature Education in Shiga Heights, Shinshu University **43**: 13-16 (2006)

The leaf phenology of *Betula ermanii* was observed in Shiga Heights, central Japan from 1985 to 2004. During this period, 5 birches were selected and their phenological traits analyzed using successive automatic daily photography. The annual variation of mean temperature at this monitor station, specifically over the last 10 years, has become increasingly warm. According to observable facts, these birches have gradually tended to accelerate the time of leaf flushing and delay the time of leaf coloring. This process is indispensable in clarifying the effects of global warming on ecosystems while continuing similar monitoring in/for the future.

Key words: *Betula ermanii*, global warming, leaf phenology, Shiga Heights, successive photographs.

はじめに

地球規模での最大の環境問題の一つに温暖化がある。地球温暖化により，2100年には約2°Cの平均気温の上昇，約50cmの海面の上昇，極端な高温等の大きな気候変化などが予測されており，地球上の生態系全てに大きな影響を与えることが懸念されている（原沢・西岡 2003）。しかし，地球温暖化に関して，気象学的な研究は数多いが，温暖化が植物季節に与える影響について長期的に調べられた研究例は少ない（環境庁地球環境部 1994）。

長野県北部に位置する信州大学教育学部附属志賀自然教育研究施設（北緯36度42分39秒，東経138度29分42秒，標高1600m：以下，志賀施設とする）では，定点カメラによる前景の植生景観の撮影を1986年より行っている。その画像を用いて1986～1994年の期間のダケカンバの葉の植物季節を解析した結果，明瞭な温暖化の影響は認められなかった（渡辺 1996）。その後，定点カメラによる毎日の撮影は継続中であり，より長期にわたる植物季節の年変化の解析が可能となったため，ここに2004年までの傾向について報告する。

本稿をまとめるにあたり，気象観測を長年の間行って頂いた志賀施設の春日基文氏，春日美千代氏に厚く御礼申し上げます。

方法

観測地

長野県北部にある志賀高原は，本州の中央脊梁山地の日本海側に位置する。信州大学教育学部附属志賀自然教育研究施設（志賀施設）は標高1600mにあり，温帯と亜高山帯との境界に位置する。周辺の植生は，シラカンバ，ダケカンバ，ミズナラなどの落葉広葉樹の二次林と，コメツガ，オオシラビソからなる亜高山針葉樹の極相林に覆われ，それらは溶岩台地上に発達している（写真1）。

使用機器と撮影方法

志賀施設の2階の研究室の窓際に，インターバルタイマーを取り付けた自動カメラ（オリンパスOM10）を設置し，カラースライドフィルムで前景を毎日1コマ撮影できるよう設定した。撮影時刻は，光線がほぼ正面となる午前11時半とした。撮影は1985年7月から始め，2005年現在も継続している。

観測対象個体と観測方法

撮影対象の前景で優占し，植生景観の季節変化をよく現している樹種はダケカンバである（写真1，

*信州大学教育学部（連絡先〒380-8544 長野市西長野6-ロ e-mail: wataryu@shinshu-u.ac.jp）
**長野県木曽町立福島小学校
***信州大学教育学部附属志賀自然研究施設
2006年1月10日受付，2006年1月31日受理

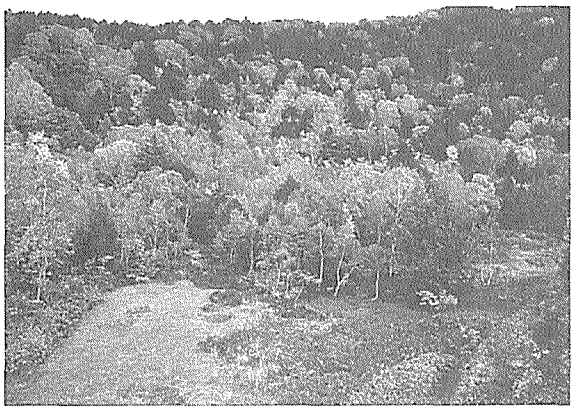

写真１．定点写真の一コマ

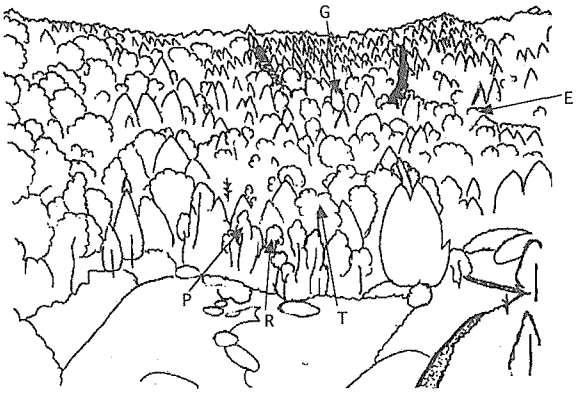

図１．葉群の植物季節の解析を行ったダケカンバ５個体（G，E，P，R，T）

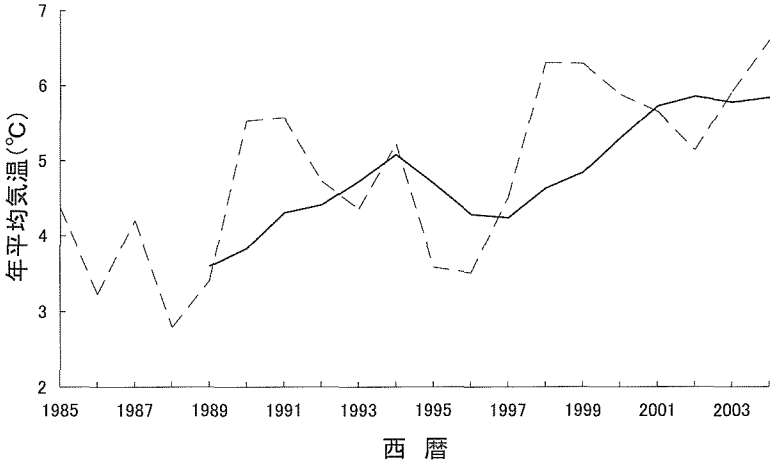

図２．志賀自然教育研究施設における年平均気温（実線は５年移動平均）

図１）。前報（渡辺 1996）では，フィルム上で明瞭に個体を識別できる前景のダケカンバ20個体（A～P）を対象に，それぞれの植物季節の年変動を解析した。この20個体は，開葉・黄葉の遅速の年変動により，１）開葉の早い群，２）黄葉の早い群，３）開葉・黄葉共に遅い群，４）平均的な群，５）年変動の大きい群，の５群に区分された。植物季節の長期変動の解析には，植物季節事象の年変動が平均的な個体群を用いることが好ましいため，本稿では，４）平均的な群に属していた５個体（E，G，P，R，T）を対象に，それぞれの開葉日と黄葉日とを判定し，解析に用いることとした。それぞれの個体の生育状況は以下の通り（図１）。

個体E：斜面中腹，針葉樹林内にあり日光条件は良いが周囲の針葉樹に次第に閉鎖されつつあり，フィルム上では年々判別が容易でなくなって来ている。

個体G：斜面上部に位置し，崩壊地に近接し，成長は良い。

個体P，R，T：高層湿原の縁の平坦地に生育する。個体GやEに比べ標高でやや低い位置にある。

植物季節の区分

ダケカンバの葉群の植物季節は，次の９ステージ（S1～S9）に区分した。S0：冬芽が未開，S1：開芽の開始，S2：開葉が始まり緑に色づく，S3：樹冠全体が緑に色づく，S4：緑葉期，S5：樹冠の一部が黄変，S6：樹冠の約半分が黄変，S7：樹冠全体が黄変，S8：落葉が目立つ，S9：全て落葉。各個体の植物季節ステージの判定は，連日写真を日付順に並べルーペで拡大し，前後数日を比較検討しながら確定した。なお，前報（渡辺 1996）では，20個体のS2，S3，S6，S7について判定し解析を行ったが，S2とS3とはほぼ同時期だったため，春季の開葉期はS2のみで判定した。また，秋季の黄葉期については，S7が気温よりも霜や降雪を機に顕著になっていると考えられたためS6のみで判定した。したがって本稿では，S2とS6の開始日を，それぞれ開葉日と黄葉日と定義した。

気温の計測と集計の方法

志賀施設では1977年より気象計測（最高・最低気温，積雪深，天気）が行なわれている。このうち気

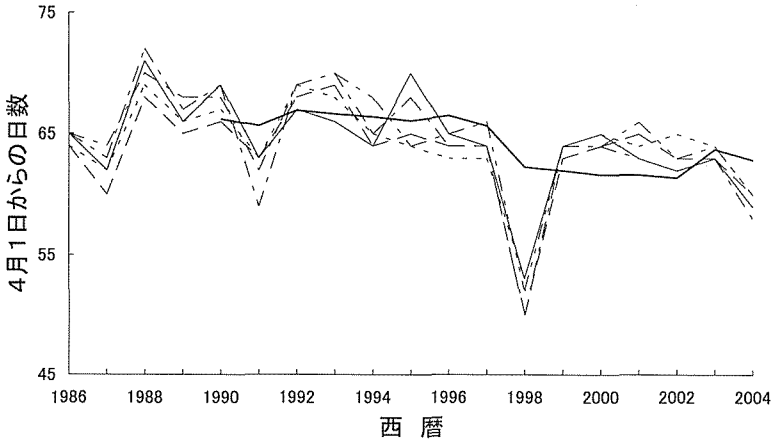

図3．ダケカンバ5個体の開葉日（太い実線は5個体の平均値の5年移動平均）

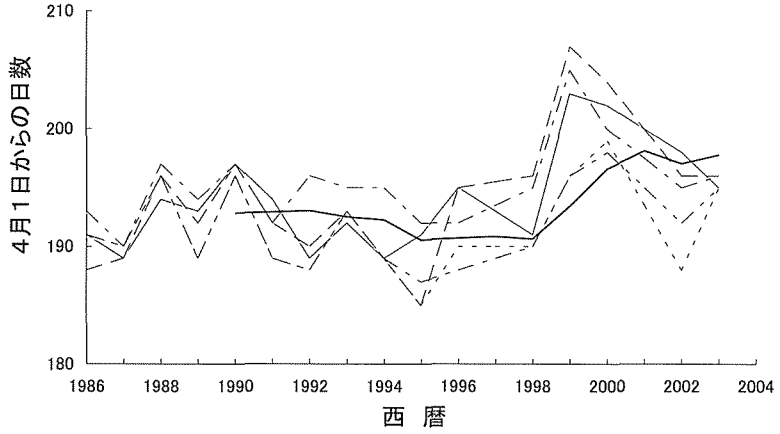

図4．ダケカンバ5個体の黄葉日（太い実線は5個体の平均値の5年移動平均）

温は日陰に設置した最高最低温度計により毎日記録している。本稿では，各期間の平均気温は以下の通り算出した。

日平均気温＝（日最高気温＋日最低気温）／2

月平均気温＝日平均気温の月積算／一ヶ月の日数

年平均気温＝月平均気温の年積算／12

以上の資料から温暖化の傾向を解析した。

結果と考察

気温の年変動

志賀施設における1985～2004年の年平均気温の年変動を見ると，上下の振れは年々顕著であるものの，全体としては温暖化傾向にあることが示された（図2）。

ダケカンバの開葉日の年変動

ダケカンバ5個体の1986～2004年の開葉日は概ね6月上旬であり，個体間で同調する傾向があった（付表1，図3）。開葉日の5個体間の個体差は最大で6日，19年の平均では2.7日で，かなり近似していた。開葉日は少しずつではあるが年々早まってきている傾向が認められた。とりわけ1998年は開葉が5月23日と極端に早かった。開葉直前にあたる5月の平均気温は，1998年は11.3°Cであったが，それは調査全期間の平均気温8.45°Cに比べ著しく高かった。したがって1998年に開葉が極端に早かったのは，春季の高温に起因しているものと考えられた。

ダケカンバの黄葉日の年変動

1986～2003年の期間（1997，2001，2004年はデータ欠測）でのダケカンバ5個体の黄葉日は10月中・下旬であり，開葉日同様，個体間で同調する傾向があった（付表2，図4）。黄葉日の5個体間の個体差は最大で11日，16年の平均では5日あり，開葉日と比べると大きかった。全体的に見ると黄葉日は年々遅延傾向にあった。

おわりに

以上から，平均気温の上昇（温暖化）に伴って年々開葉日が早く，黄葉日が遅くなるといった現象が，徐々にではあるが示された。このことはダケカンバの光合成期間が次第に長くなってきていること

を示唆する。温暖化はある側面では植物の生育に好適な条件をもたらすとも考えられるが，こうした緑葉期間の長さは，食葉性昆虫など葉群を取り巻く生態系に重大な影響を及ぼすと考えられる。温暖化が生態系に与える影響はこのように多面的に捉える必要があるだろう。そのために，同様のモニタリングを今後も継続することが不可欠である。

引用文献

原沢英夫・西岡秀三（2003）地球温暖化と日本　第3次報告―自然・人への影響予測．古今書院，東京．

環境庁地球環境部（1994）地球環境の行方―地球温暖化の我が国への影響．中央法規出版，東京．

渡辺隆一（1996）ダケカンバの植物季節における個体変異と年変異―自動カメラの連日写真による開葉日と黄葉日の判定から．信州大学教育学部附属志賀自然教育研究施設研究業績 **33**：15-26．

付表1．志賀高原におけるダケカンバ5個体の開葉日

西暦	E	G	P	R	T	平均
1986	6月4日	6月4日	6月4日	6月3日	6月3日	6月4日
1987	6月1日	6月2日	6月3日	5月30日	6月1日	6月2日
1988	6月10日	6月11日	6月9日	6月7日	6月8日	6月9日
1989	6月5日	6月6日	6月7日	6月4日	6月5日	6月7日
1990	6月8日	6月8日	6月7日	6月5日	6月6日	6月6日
1991	6月2日	5月29日	6月1日	6月2日	6月2日	6月1日
1992	6月6日	6月8日	6月8日	6月7日	6月8日	6月6日
1993	6月5日	6月9日	6月9日	6月8日	6月7日	6月7日
1994	6月3日	6月4日	6月7日	6月3日	6月4日	6月4日
1995	6月9日	6月7日	6月3日	6月4日	6月3日	6月5日
1996	6月4日	6月3日	6月4日	6月3日	6月2日	6月3日
1997	6月3日	6月3日	6月5日	6月3日	6月2日	6月3日
1998	5月23日	5月20日	5月22日	5月20日	5月23日	5月22日
1999	6月3日	6月3日	6月3日	6月2日	6月3日	6月3日
2000	6月4日	6月3日	6月3日	6月3日	6月4日	6月3日
2001	6月2日	6月2日	6月5日	6月4日	6月3日	6月3日
2002	6月1日	6月1日	6月2日	6月2日	6月4日	6月4日
2003	6月2日	6月2日	6月3日	6月2日	6月3日	6月3日
2004	5月29日	5月28日	5月30日	5月30日	5月30日	5月29日
平均	6月3日	6月3日	6月4日	6月3日	6月3日	6月3日

付表2．志賀高原におけるダケカンバ5個体の黄葉日（―：データ欠測）

西暦	E	G	P	R	T	平均
1986	10月8日	10月8日	10月8日	10月5日	10月10日	10月8日
1987	10月6日	10月7日	10月7日	10月6日	10月7日	10月7日
1988	10月11日	10月13日	10月13日	10月13日	10月14日	10月13日
1989	10月10日	10月6日	10月6日	10月9日	10月11日	10月8日
1990	10月14日	10月13日	10月13日	10月14日	10月14日	10月14日
1991	10月11日	10月6日	10月6日	10月9日	10月9日	10月8日
1992	10月6日	10月5日	10月5日	10月7日	10月13日	10月7日
1993	10月9日	10月10日	10月10日	10月10日	10月12日	10月10日
1994	10月6日	10月6日	10月6日	10月6日	10月12日	10月7日
1995	10月8日	10月2日	10月4日	10月2日	10月9日	10月5日
1996	10月12日	10月7日	10月5日	10月12日	10月9日	10月9日
1997	―	―	―	―	―	―
1998	10月8日	10月7日	10月7日	10月13日	10月12日	10月9日
1999	10月20日	10月13日	10月13日	10月24日	10月22日	10月18日
2000	10月19日	10月16日	10月15日	10月21日	10月17日	10月18日
2001	―	―	―	―	―	―
2002	10月15日	10月5日	10月9日	10月13日	10月12日	10月11日
2003	10月12日	10月12日	10月12日	10月13日	10月13日	10月12日
2004	―	―	―	―	―	―
平均	10月11日	10月9日	10月9日	10月11日	10月12日	10月10日