

2. 衛星データによる月別葉面積指数の推定

ESTIMATION OF MONTHLY LEAF AREA INDEX USING REMOTE SENSING DATA

石井孝* · 梨本真* · 宮永洋一*

Takashi ISHII *, Makoto NASHIMOTO *, Yoichi MIYANAGA *

ABSTRACT; This study aims to apply Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for large scale mapping of leaf area index (LAI) using NOAA data. We collected satellite data of three seasons, climate data, vegetation data, and land use data. The main results are summarized as below.

(1) A comparison of monthly NDVI and leaf phenological phase for some forests was conducted to examine the applicability of the method using remote sensing data. Monthly NDVI was presented to demonstrate their utility for monitoring vegetation seasonal dynamics and unfolding periods by using warmer index (WI).

(2) Monthly LAI map in Japan was made on a threshold value and seasonal change of NDVI. The threshold value of NDVI should be modified by collecting and analyzing further data in the future.

Key word: Remote sensing, Vegetation index, Leaf area index, Phenology

1. はじめに

当所では、衛星データを用いた森林蒸発散量の定量的評価に向けた研究を行っている。最近、広域での蒸発散量や純一次生産量について、陸面過程モデルや生態系モデルと呼ばれるものが数多く提案され、入力データを揃えた相互比較実験が行われている。それらのモデルでは、衛星データから葉面積指数(LAI)を算出して、パラメータとして使用しているものも多い。

著者らは、衛星データから算出される植生指数値(NDVI)の年最大値をもとに、日本全域でのLAI最大値マップを作成した。これは、気候的条件などにより植物季節が異なるため、最大値のみで比較したものである。しかし、生態系モデルでは月別値が必要であるため、衛星データによる植物季節の同定について、基礎的な検討を行ない、月別葉面積指数の推定を試みた。

2. LAI最大値推定手法の概要

著者らが提案しているLAI最大値推定手法について、その概要を説明する。詳細は石井ほか(1999)を参照されたい。このLAI最大値は、植物季節(季節変化)の抽出をする場合のピーク値となるものである。特徴は、LAIの直接測定、間接測定、広域推定を1セットとして実施したことで、そのうち広域推定手順は、SPOT衛星のNDVI値と実測して得られたスギ・ヒノキ人工林でのLAIとの関係を定式化し、この関係式を他の森林型にも適用して、衛星データよりLAI最大値を推定し、誤差を文献値マップとの線形回帰により補正する手法である。なお、対象地域は、北緯30~46度、東経129~146度の範囲である。

*:(財)電力中央研究所 Central Research Institute of Electric Power Industry, Abiko-shi, Chiba, Japan 270-1194

2. 1. LAIの広域推定手順と結果

LAI最大値の広域推定手順を図1に示す。まず、EROSデータセンターより、3シーズン分のノア衛星のNDVI値データを入力し、その最大値を抽出して、スギ・ヒノキ人工林でのNDVI-LAI関係式を用いてLAI推定値を算出する。次に、各植生タイプごとのLAI最大値を文献資料から与え、①式のように各メッシュで植生タイプごとのLAI値と土地利用面積率を掛け合わせて、文献値マップを作成する。最後に、LAI推定値を文献値に合わせるように線形回帰により補正係数を算出した。

$$LAI = \sum_{type=1}^{10} (文献値 \times 土地利用面積率)$$

①

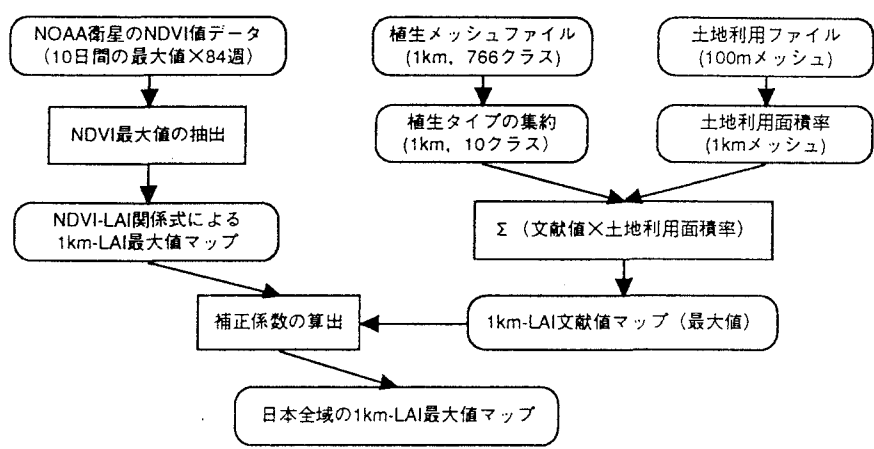
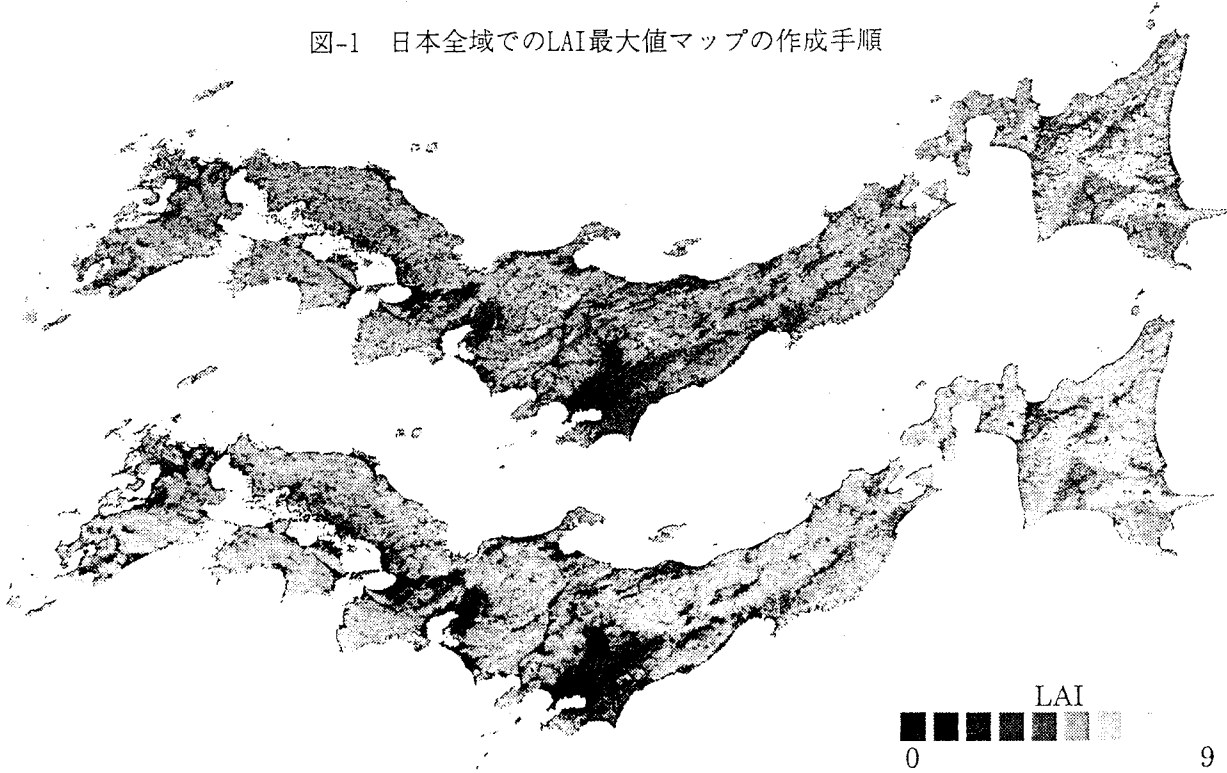


図-1 日本全域でのLAI最大値マップの作成手順



上図：植生図，土地利用図，文献値により作成した文献値マップ
下図：衛星データ，変換式，補正係数により作成した推定マップ

図-2 日本全域でのLAI最大値マップ

3. 月最大NDVI値による月別葉面積指数の推定

図-2のLAI最大値マップは、特定の日時の状態を表しているのではなく、植物季節が異なる植生のそれぞれの最大値を示しているにすぎない。森林の蒸発散量などを算出する場合、LAIの月別値が必要になるため、日本各地で実施された植物季節の調査事例とNDVI値の季節変化パターンとを比較し、衛星データによる月別葉面積指数の推定を試みた。

3. 1. 植物季節に関する調査事例

表-1は、これまでに人工林や天然林を対象として実施された植物季節に関する調査事例をまとめたものである。これらの調査事例と衛星データとを比較するために、温量指数(WI)を尺度として使用した。温量示数は吉良が考案した積算温度の一種で、月平均気温が5℃を越える期間を植物の生育期間とし、その期間内の月平均気温から5℃を減じて加算して求める。暖かさの示数とも呼ばれ、単位は℃・月である。この示数は、日本の多くの植物について、その分布域と対応することが知られており、一般に針葉樹林帯(15~45)、夏緑広葉樹林帯(45~85)、照葉樹林帯(85~180)、亜熱帯降雨林帯(180~240)という区分がなされている。

表-1 植物季節に関する調査事例

樹種	場所	標高 (m)	展開時期*1 開始 完了	落葉時期*1 開始 完了	調査期間	参考文献	WI値*2 (℃・月)
カラマツ	美ヶ原高原	600-2000	4上 4下 5中 6上	11上 11下 10上 10下	1980-1992	只木他, 1994	93 43
ブナ	八甲田山	950-1150	5中 5下 5下 6上	9下 10中 9下 10上	1963-1964	KANEKO, 1965	48 41
ブナ	山形県小国町	450	5上 5下	10中 11中	1976-1977	丸山, 1979	71
ブナ	広島県比婆山	1100	4下 5下	10上 10下	1976	中越, 1980	65
ミズナラ	富良野	230	5中 5下	10中 11上	1953-1993	木村他, 1994	49

*1: 数値は月を表し、上・中・下は上旬・中旬・下旬を意味する。
*2: 温量指数(WI)は気候値メッシュファイルより算出した。

3. 2. 衛星データによる植物季節の抽出

衛星データによる植物季節の抽出、および表-1の調査事例との比較のために、以下に示す各種データを3次メッシュ(約1km)単位で使用した。

表-2 植物季節の抽出に使用したデータ

データの名称	作成機関	処理の内容
NOAA-NDVIデータ	米国EROS	10日ごとの最大値データ84シーンから月最大値を抽出
NOAA-BAND4データ	米国EROS	温度データに変換し、雲域・積雪域の除去に使用
気候値メッシュファイル	気象庁	月平均気温からWI値を算出
植生メッシュファイル	環境庁	総観レベルの10クラスに区分して使用
土地利用データ(100m)	国土庁	森林、水田、畑地、都市などの土地利用面積率を算出

植物季節は、気候的条件により季節の進行特性が異なるため、植生クラス、土地利用面積率、WI値の3つのパラメータでNDVI値を区分抽出して、その特性を把握することにした。このうち、森林に属する植生クラスでは、森林としての土地利用面積率が100%の地域について、WI値ごとにNDVI値を抽出し平均値を求めた。都市、水田、畑地では、各土地利用面積率が90%以上の地域について、WI値ごとにNDVI値を抽出し平均値を

求めた。図-3と図-4は、各植生タイプごとのNDVI月最大値の季節変化、および月別WIの積算値とNDVI値との関係を示したものである。なお、NDVI値を抽出するにあたり、雲や雪の影響をのぞくため、表面温度が0℃以上という条件をつけ、また、サンプル数が100未満（約100km²）の場合は除いた。

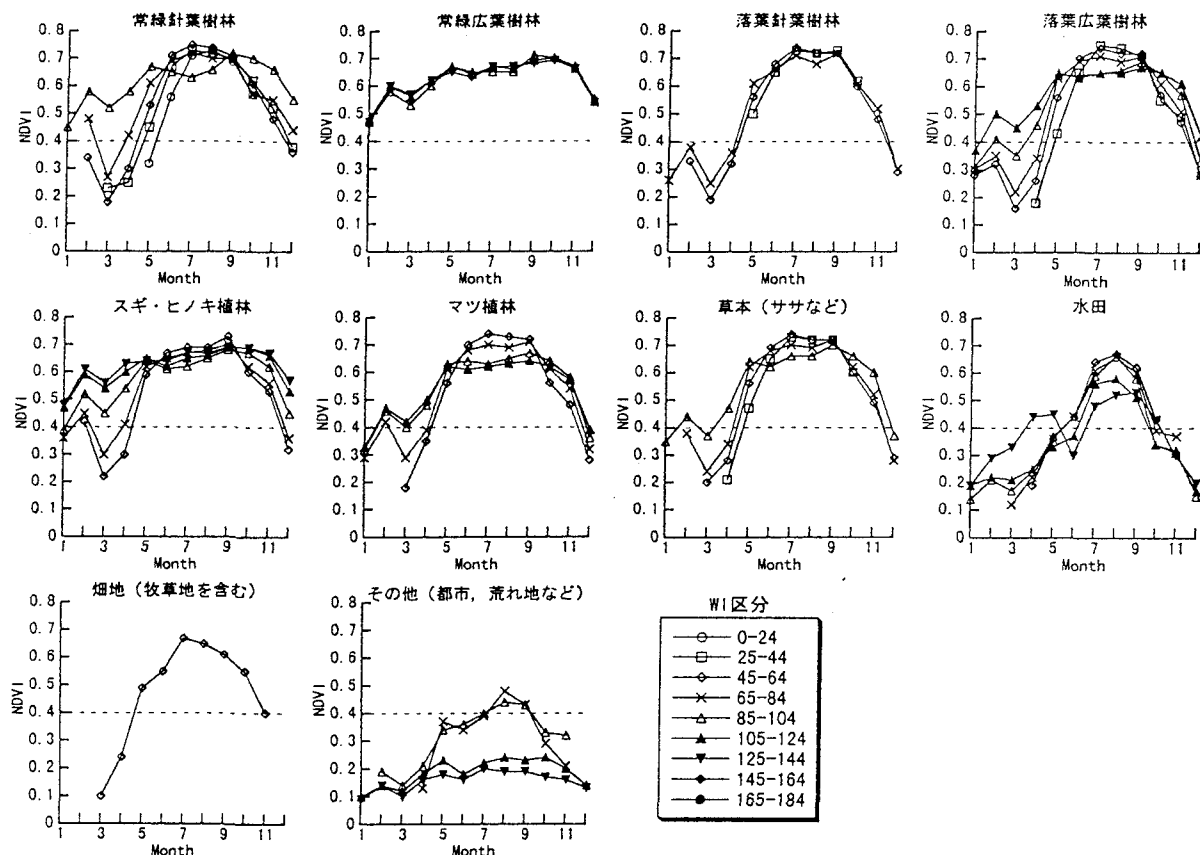


図-3 植生タイプとWIで区分抽出したNDVI最大値の季節変化

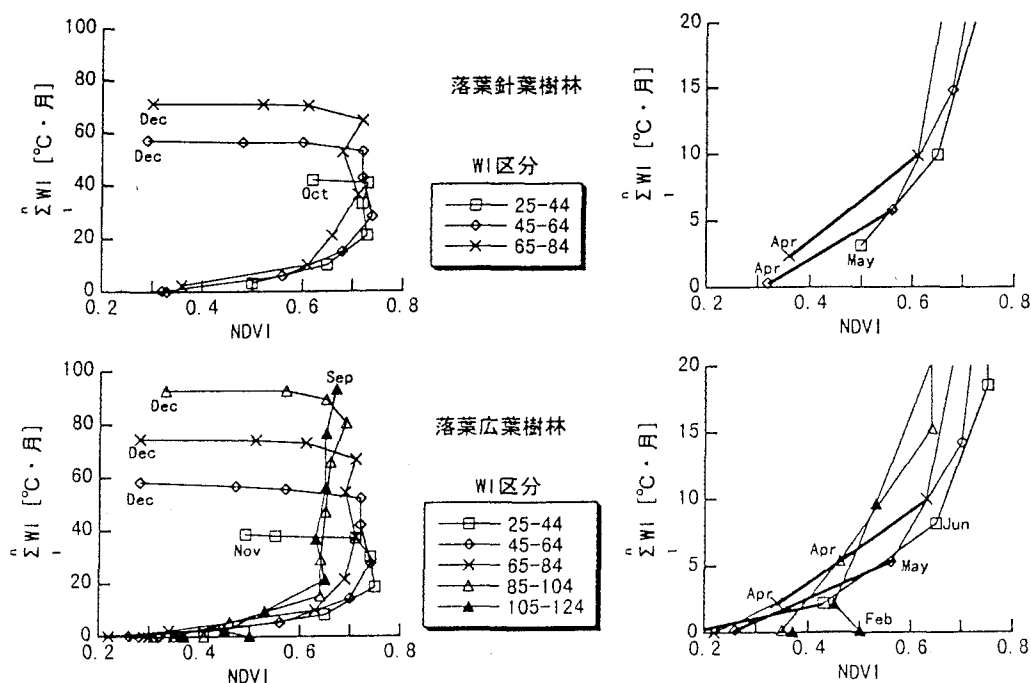


図-4 月別WIの積算値とNDVI値との関係

図-3をみると、常緑針葉樹林、落葉広葉樹林、草本（ササなど）において、WI区分と葉の展開期（3月～5月）の遅れが良く捉えられている。この変化は、スギ・ヒノキ植林でも若干見られることから、主として融雪時期の時間的なズレを捉えているとも考えられる。しかし、消雪時期と葉の展開時期は、時間的に近接もしくは重なっているため、植物季節にほぼ対応した変化パターンとして考えて良いと思われる。

図-4（左図）は、落葉針葉樹林と落葉広葉樹林について、5℃以上の積算温度とNDVI値との関係を見たものであるが、いずれのWI区分でも、積算値が20[℃・月]まではNDVIが急激に増加しているものの、その後、落葉期までは一定した値を示している。急激に増加している時期は、葉の展開開始時期にあたるが、融雪の進行も積算温度と密接に関わる現象であり、同時に進んでいる可能性がある。

Nemani and Running(1997) は、明確な根拠は示していないが、NDVI=0.4をしきい値として「植物の生育期間」を抽出している。図-4（右図）は、展開期の部分を拡大したもので、太線は表-1の展開時期に相当する部分である。例外もあるが、概ね4月のNDVI値は0.4以下で、5月のNDVI値は0.4以上となっている。また、図-3の「その他（都市、荒地など）」の最大値が0.4程度であり、「水田」についても0.4をしきい値とすることで、水稻の生育期間を概ね表現できると思われる。いずれも、明確な根拠とはならないが、本検討でも Nemani and Running(1997) と同じく、NDVI=0.4をしきい値とすることにした。

3. 3. 月別葉面積指数の推定

任意の月 m の葉面積指数 $LAI(m)$ は、②式のように植生タイプごとの LAI 最小値 (LAI_{min}) と LAI 最大値 (LAI_{max}) との間を、月別植生指数値の振幅量 ($NDVI(m)-0.4$) の最大振幅量 ($NDVI_{max}-0.4$) に対する比率をもとに、季節変化させる方法で算出した。このうち、 LAI 最大値 (LAI_{max}) と $NDVI$ 最大値 ($NDVI_{max}$) は、図-2（下図）および算出する為に使ったデータをそのまま使用し、 LAI 最小値 (LAI_{min}) は表-3のように設定した。

$$LAI(m) = \frac{NDVI(m)-0.4}{NDVI_{max}-0.4} \cdot (LAI_{max}-LAI_{min}) + LAI_{min} \tag{2}$$

表-3 LAI最小値 (LAImin) の設定値

クラス	植生タイプ	LAImin	クラス	植生タイプ	LAImin
1	常緑針葉樹林	5.0	6	スギ・ヒノキ植林	4.0
2	常緑広葉樹林	5.0	7	マツ植林	3.0
3	落葉針葉樹林	0.0	8	畑地（牧草地を含む）	0.0
4	落葉広葉樹林	0.0	9	水田	0.0
5	草本（ササなど）	0.0	10	その他（都市、荒地）	0.0

図-5は、②式により算出した月別LAI図のうち奇数月について示したものである。東北地方や北海道の平地に多い落葉広葉樹林の季節変化が表現できているように見えるが、スムーズな季節変化とはなっていない。これは、月単位処理では雲の影響が完全に除去できないためで、影響を除くためには、Sellers 他（1994）のようにフーリエ変換等のデータ処理を前もって行うか、NDVI値以外で季節変化を表現する必要がある。

4. まとめ

衛星データによる植物季節の抽出に関する基礎的検討を行ない、月別葉面積指数の推定を試みた。植物季節の調査事例と月別NDVI最大値との比較では、温度指数値(WI)により季節変化パターンの区分が可能であること、雪面の影響を受けている可能性はあるが、葉の展開時期の違いが検出できることが分かった。衛星データによる植物季節の抽出では、植物の生育期間を区別するために、NDVI値にしきい値を設けたが、明確な

根拠を示すことはできなかった。月別LAI図は、LAIの最大値と最小値を仮定して、その間をNDVI値の季節変化パターンで変化させる方式で作成したが、スムーズな季節変化を得るためには、データの前処理もしくはNDVI値以外で季節変化を表現する必要がある。

LAIの広域推定手法には、衛星データに含まれる誤差要因、NDVI-LAI関係式の成立性、地形やサブグリッドスケールの影響など、解決すべき問題点が多いが、生態系モデルで出力されるLAI値の信頼性が低く、また、簡単な方法で広域推定する手段がない以上、実用的な一次推定法としての価値は十分あると考える。今後、長期間（10年分）の衛星データと気象データを使用して、蒸発散量の算出や水収支の検証を行い、LAI値の妥当性を評価する予定である。

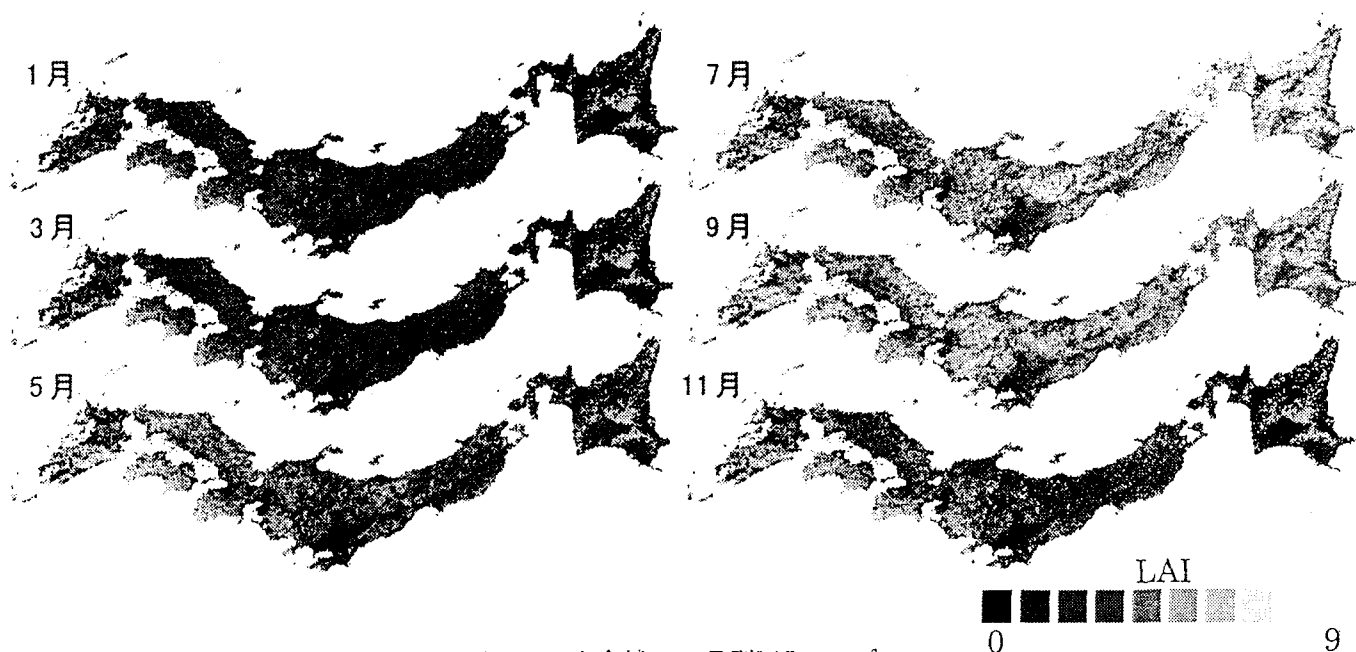


図-5 日本全域での月別LAIマップ

引用文献

石井孝, 梨本真, 下垣久 (1999) : 衛星データによる葉面積指数LAIの推定, 水文・水資源学会誌, 12-3, 印刷中

KANEKO T.(1965) : Altitudinal change in the leaf activities of tree on Mt. HAKKODA, Ecological Review, 16-3, 181-187

木村徳志, 木佐貫博光, 倉橋昭夫, 佐々木忠兵衛 (1994) : ミズナラのフェノロジー-東京大学北海道演習林における35年間の経年変動-, 日林学会論集, 105, 455-458

丸山幸平 (1979) : ブナ林の生態学的研究 (33) 高木層の主要樹種間および階層間のフェノロジーの比較, 新潟大演習林報, 12, 19-41

中越信和 (1980) : 比婆山における森林植物の植物季節学的研究, Hikobia, 8, 399-415

Nemani, R.R., Running, S.W.(1997) : Land cover Characterization using multitemporal red, near-IR, and thermal-IR data from NOAA/AVHRR., Ecological applications, 7, 79-90

SELLERS,P.J., et.al.(1994) : A global 1° by 1° NDVI data set for climate studies. Part 2: The generation of global field of terrestrial biophysical parameters from the NDVI,Int. J. Remote Sensing,15-17,3519-3545.

只木良也, 北村秀夫, 蟹江清丞, 佐野弘美, 重松明子, 大津慎一 (1994) : 標高に伴うカラマツの葉の開葉と落葉の挙動, 日生態会誌, 44(3), 305-314