

フェノロジー調査の画像処理について

酒井 徹朗・菅原 哲二

1. は じ め に

北海道演習林では酸性雨など地球環境モニタリングの一環として、1993年から樹木のフェノロジー調査をおこなっている。当初、開葉開花などの各段階の判断が難しく、個人差が生じ易いと指摘されていた。そこでできるだけ客観的に容易に観察できる方法として写真撮影を併用することにした。この方法は定期的に調査木毎に定められた地点から写真撮影をおこなうもので、観察結果を参照しながら後日写真を比較し判断できる利点がある。しかし、せっかく撮影したこれらの写真を単に並べて比較するだけでは面白くないと考え、画像データとして比較検討する方法を試みてみた。そのためにまず、撮影した写真をパソコンで扱うことのできる画像データに変換し、それらのデータベースを構築した。ここではフェノロジー調査の一助として、それらの画像データを用いて開葉期の比較判断の方法について検討したので報告する。

2. 材料および画像データベースの作成

北海道演習林でおこなっているフェノロジー調査の対象木の概要は表1に示すとおりである。対象木はヤチダモ、ミズナラ、ニレ、シラカンバ、トドマツ、カラマツの6種19本である。ここでは標茶区だけ掲げてあるが白糠区でも3種10本を対象に同様な方法で調査をおこなっている。写真撮影は個々の対象木毎に定められた地点からおこなっている。撮影間隔は変化の激しい開葉・落葉期は1週間、変化の少ない夏場などは2週間である。なお、対象木には固有の番号を付した看板が取り付けられており、個体の識別に用いられる。当初撮影はスライドフィルムを用いていたが、途中からプリントフィルムに変更した。その理由は写真の整理が容易で、費用も安いという単純なもので、解像能力などは考慮していなかった。

撮影された写真はプリントの場合はイメージスキャナ（EPSON GT6000）で、スライドの場合はスキャナ（Nikon COOLSCAN）でパソコンの画像データに変換した。取り込む際の解像度はイメージスキャナの場合100ドット／インチ、スライドスキャナの場合150ドット／インチである。イメージスキャナの場合、4枚の写真を同時にひとつの画像データとして取り込むことができる。その場合、市販の画像処理ソフトを用いて、全体の画像データから、個々の画像データを

表-1 対象木の位置と樹木

記号	樹種	DBHcm	樹高m	備考
A	ヤチダモ	38.9	22.0	樹木不明天然林
B	ヤチダモ	38.2	20.0	樹木不明天然林
C	ヤチダモ	47.5	26.0	樹木不明天然林
D	ミズナラ	94.5	20.0	樹木不明天然林
E	ミズナラ	75.6	21.0	樹木不明天然林
F	ミズナラ	50.7	16.0	樹木不明天然林
G	ヤチダモ	26.4	26.0	樹木不明天然林
H	ハルニレ	86.8	23.0	樹木不明天然林
I	ハルニレ	56.8	21.0	樹木不明天然林
J	ハルニレ	64.2	25.0	樹木不明天然林
K	シラカンバ	26.2	15.0	樹齢約40年
L	シラカンバ	32.8	18.5	樹齢約40年
M	シラカンバ	29.8	15.5	樹齢約40年
N	トドマツ	39.5	17.5	樹齢約40年
O	トドマツ	39.2	16.5	樹齢約40年
P	トドマツ	43.8	17.5	樹齢約40年
Q	カラマツ	38.9	21.0	樹齢約70年
R	カラマツ	29.8	19.0	樹齢約70年
S	カラマツ		20.0	樹齢約70年

切り出す必要がある。1枚1枚取り込むより、まとめて4枚づつ取り込むほうが時間的に効率がよい。

画像データは個体識別記号（1文字）と撮影年月日（6文字、西暦の下2桁、月2桁、日2桁）からなるファイル名を付け、個体別に個体名を冠したサブディレクトリに保存した。そのため個体識別記号（A～S）と撮影年月日を指定すれば、簡単に画像データを呼び出すことができる。また、市販ソフトを用いる場合、個体毎のサブディレクトリをまず呼び出し、その中に格納されている任意の撮影年月日の写真を容易に選択できる。このような系統だてた格納方法はデータベースのひとつの姿である。その意味で画像データベースと呼ぶことができる。なお、画像データには各種のフォーマット形式と圧縮方法がある。どのような形式にするかは、ハードやソフトの面から規制される。まだ試行段階ということで、できるだけ一般的な形式を採用した。各形式間の変換は比較的容易にできるが、いったん解像度を落とせば、それをもちいた変換ではそれ以上の解像度にはならないし、画質が落ちることがあっても良くはない。ちなみに今回作成した1枚のプリント写真に相当する画像ファイルの大きさはBMP形式では約84kバイト、TIF形式では約11Kバイトであった。まとめて4枚取り込むときは約64Kバイトの容量になり、通常のフロッピーディスクだと1枚に2つしか格納できなかった。

3. 画像処理方法

フェノロジー調査における画像処理の目的は、写真上で葉の占める面積がどの程度あるかを、定量的に算出することである。画像データは写真を解像度によって縦横をいくつかの画素（ピクセル）に分割し、各ピクセル毎に赤色（R）、緑色（G）、青色（B）の明暗を0～255（暗～明）

の段階に分け表現している。葉は通常写真上で緑色で表現される。その場合の緑色の表現はR値77, G値166, B値25付近の値である。一方空の青はR値76, G値181, B値232付近の値となる。このように画像データでは単純に緑色だからといってG値だけでは判断はできない。また、撮影時の天候や日射の具合により葉の色は微妙に変化する。そこでリモートセンシングでの林相区分などの識別法を参考にして、判別関数による識別方法で葉を識別することとした。この方法はあらかじめ識別区分がはっきりしている区画(トレーニングエリア)を指定し、それらをもとに統計処理をし判別関数を算出し、その判別関数で他の部分を識別する方法である。本研究では識別の区分としては空、幹や枝、土、枯れ草、雲の6とおりにした。その手順は次のとおりである。

- (1) 画像データ上で6種の識別区分のトレーニングエリアを指定する。
- (2) 各トレーニングエリアの個々のピクセルのRGB値を読み出す。
- (3) 判別関数を算出する。
- (4) 求めた判別関数により画像データの各ピクセルを識別区分する。

このようにして作成した画像から葉に識別されたピクセル数をカウントすればその写真の葉の量が定量的に表示される。

しかし、撮影日の異なった写真の葉の量を単純に比較して葉量の変化とするわけにはいかない。というのは、写真の区画が必ずしも同一と限らないこと、精確に写真の中心点が一致していないからである。そこで、比較対象とする写真に共通して写し出されている点、例えば幹の股とか樹木の番号札などを見だし、それらの座標値から補正する必要がある。この方法はアフェイン変換と呼ばれる座標変換で、最低4ヶ以上の対の共通点座標値から変換係数を算出し、一次式で変換する。変換後の各画像データから同一区画-梢端部や樹木全体などを含む矩形-の葉量を比較しその変化を知ることができる。

なお、これらの処理は自作の幾本かのプログラムと市販の画像ソフトや統計ソフトを併用しておこなった。

4. 適用例および考察

1994年の開葉期に撮影したナラの木(記号D, 樹木番号NO. 4)の写真4枚を用いて、この方法の適用性について検討してみた。用いた画像データはプリント写真から作成されたものである。まず、原画像データ(TIF形式)を汎用フォーマットの画像データに変換した。個々のピクセルの情報をプログラムで読み込み処理するためである。同時に、区域識別のためにトレーニングエリアの位置情報を得た。それは矩形の左上部のXY位置と幅および高さで、画像データの左上部を基準としたピクセル数で表現される。トレーニングエリアの情報をもとに画像データから、識別区分・ピクセルの座標・そのRGBの値を1セットとした判別関数用のデータファイルを各写真ごとに作成するとともに、個々のトレーニングエリアの統計値を算出した。表2は各写真ごとに識別に用いたトレーニングエリアのRGB値の統計値を表している。識別区分は撮影時期によりことになっている。94/05/23の写真ではまだ葉が展葉していないため、葉は識別されていない。同様なことは枯れ草についても言える。また同じ識別区分でも写真により、RGBの統計値が異なっていることがわかる。これは天候などの撮影条件の違いによる。トレーニングエリアはできるだ

表-2 識別単位RGB総計値

撮 影 年月日	識 別 単 位	ピクセル 数	R 平 均	標 準 偏 差	G 平 均	標 準 偏 差	B 平 均	標 準 偏 差
940523	空	121	219.5	4.9	238.0	0.0	255.0	0.0
940523	枝	170	82.3	18.2	86.6	17.3	95.9	15.3
940523	土	256	233.2	9.9	219.3	13.0	209.6	13.6
940523	枯草	256	198.6	19.8	181.2	19.9	136.9	23.4
940523	雲	256	255.0	0.0	255.0	0.0	238.0	0.0
940531	空	441	101.9	1.4	148.3	7.6	204.0	0.0
940531	葉	77	110.6	10.1	144.4	14.7	173.3	34.7
940531	枝	121	144.9	29.5	137.3	29.3	122.4	26.9
940531	土	169	219.3	15.7	203.8	20.0	184.1	21.6
940531	枯草	256	176.4	23.9	161.7	23.7	113.5	21.8
940607	空	110	138.3	5.8	182.8	7.3	221.6	3.2
940607	葉	182	93.0	35.5	115.5	38.0	90.0	44.9
940607	枝	132	93.2	29.2	95.4	30.3	85.3	28.1
940607	土	288	191.0	22.4	182.0	21.5	132.9	26.2
940607	雲	130	249.1	8.1	255.0	0.0	243.9	8.1
940615	空	121	255.0	0.0	255.0	0.0	238.0	0.0
940615	葉	130	94.7	23.3	117.4	23.7	97.3	20.8
940615	枝	121	36.8	8.8	44.0	10.4	41.2	10.7
940615	土	120	107.7	25.4	106.1	29.4	84.2	21.6
940615	雲	80	118.2	31.7	134.5	33.1	141.9	30.4

け均一な代表的なところを選定した。しかし、94/06/07の写真のように標準偏差の値が他に比べ大きいものもある。エリアの選定は判別関数の優劣を左右するから、注意深くおこなう必要がある。

判別関数は作成したデータファイルを市販の統計処理ソフトで処理し、簡単に求められる。表3は求められた判別関数の係数値を表している。また、表4は分類結果を示している。全体としては90%以上の正答率であるが、個別にみると差がある。例えば、94/05/31の枝と枯れ草、94/06/07の葉と枝の正答率が低い。その原因は、前者では共に似たような色調であったため、後者はエリアの選定の際双方が含まれてしまったためと考える。特に葉は分析の対象となるものであるから、エリアには純粋な部分を選定しなければならない。こうした統計的な判別の他に、簡易分類をトレーニングエリアのデータ切り出しの際におこなうようプログラムしてある。それは各ピクセルのRGB値と各トレーニングエリアの平均RGB値を比較し、単純距離で最も近いところに分類する方法である。エリアの選定の良しあしを簡単にチェックできる利点があるが、分類の精度は判別関数ほどは良くない。図1は94/5/31の写真、簡易判別および判別関数による分類結果の例である。白黒のためあまり鮮明ではないが、解析の過程がわかる。

判別関数を用いて画像データを分類した後、基準となる画像に合うようアフェイン変換をおこなう。図2は94/05/23の画像を基準として、94/06/07の画像をアフェイン変換した例である。たまたま写真の縦横を間違えて撮影したため、欠落部分が多くでている。次いで、開葉の観察区域—ここでは梢端部の200*200ピクセルの正方形の葉の量を算出した。その結果は図3に示すとおりである。図中の+印は観察区域内の葉の面積比率の実測値である。実線は5月23日を基準日

表-3 判別関数の係数値

撮 影 年月日	識 別 単 位	R 値係数	G 値係数	B 値係数	定 数
9 4 0 5 2 3	空	-0. 2 3 5	0. 7 7 3	0. 6 9 0	-156. 9 8 6
	枝	-0. 0 6 3	0. 2 6 1	0. 2 5 7	-22. 5 5 1
	土	0. 5 4 9	0. 3 8 5	0. 1 8 6	-126. 7 7 9
	枯草	0. 8 4 8	0. 2 0 7	-0. 1 8 6	-91. 3 4 1
	雲	0. 3 6 8	0. 5 8 6	0. 3 2 1	-162. 3 3 2
9 4 0 5 3 1	空	-0. 6 6 6	0. 5 4 7	0. 6 0 7	-69. 5 3 7
	葉	0. 0 5 5	0. 2 7 6	0. 0 4 5	-24. 2 0 7
	枝	0. 4 2 3	0. 0 3 2	0. 0 2 4	-36. 6 5 5
	土	0. 6 8 2	0. 0 1 0	0. 0 2 9	-80. 4 9 9
	枯草	0. 7 1 6	-0. 0 2 4	-0. 1 4 6	-54. 5 3 9
9 4 0 6 0 7	空	-0. 5 8 7	0. 5 5 0	0. 3 4 3	-49. 7 3 7
	葉	-0. 1 3 0	0. 2 4 4	0. 0 6 0	-12. 1 7 0
	枝	0. 0 5 1	0. 0 8 2	0. 0 2 3	-9. 0 2 9
	土	0. 3 5 7	0. 0 1 5	-0. 0 8 3	-30. 9 4 8
	雲	0. 0 5 2	0. 2 5 0	0. 1 2 0	-55. 4 0 2
9 4 0 6 1 5	空	0. 0 1 8	0. 2 1 1	0. 4 0 3	-79. 4 7 1
	葉	-0. 3 0 5	0. 3 0 7	0. 2 7 4	-18. 2 5 0
	枝	-0. 1 2 8	0. 1 1 2	0. 1 2 8	-4. 1 5 7
	土	0. 1 5 9	0. 0 3 5	0. 0 3 8	-13. 3 9 7
	雲	-0. 4 2 0	0. 3 2 4	0. 4 7 2	-32. 2 6 8

表-4 分 類 結 果

撮 影 年月日	空	葉	枝	土	枯 草	雲	全 体
9 4 0 5 2 3	100. 0		99. 4	99. 2	91. 2	100. 0	96. 9
9 4 0 5 3 1	100. 0	90. 6	65. 3	95. 3	87. 9		91. 5
9 4 0 6 0 7	100. 0	81. 9	66. 7	99. 6		100. 0	89. 6
9 4 0 6 1 5	100. 0	90. 8	98. 4	92. 5		81. 3	92. 3
全 体	100. 0	87. 8	82. 5	96. 7	89. 6	93. 8	92. 6

として日数を従属変数にして面積比率を回帰した結果である。また、点線は6月15日の面積比率を100とした場合の相対的葉量変化を表している。この図から開葉が50%進んだ日は、点線が50%ラインを切る5月27日頃、80%の段階は6月2日頃と判断できる。このように比較的容易に相対的な開葉の段階が推定できる。なお観察区域の設定は、対象木により写し出されている周辺の植生が異なるので、できるだけ他の植物が入っていない部分とする必要がある。また、一定の決められた幅で、上部からライン毎に葉量を比較する方法も考えられる。どちらの方法にしる、フェノロジーの判定にとってこのような画像データの利用は有用な方法だと考える。

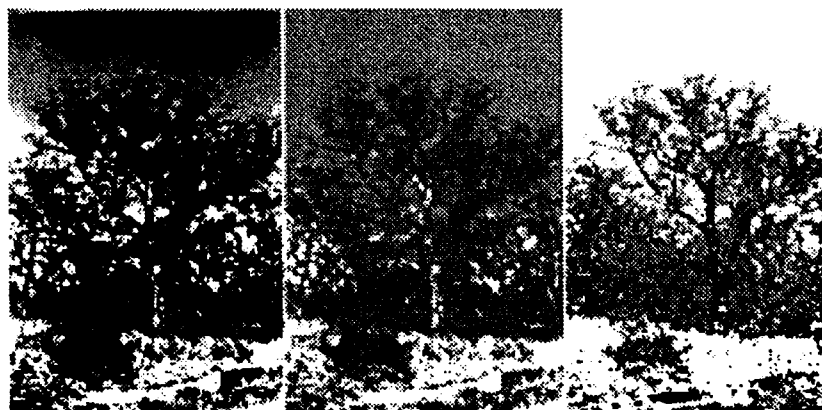


図-1 分類結果 (94/5/31) 原寸
左：原写真 中：簡易判別 右：判別関数での分類



図-2 アフェイン変換の例 (94 106 107)

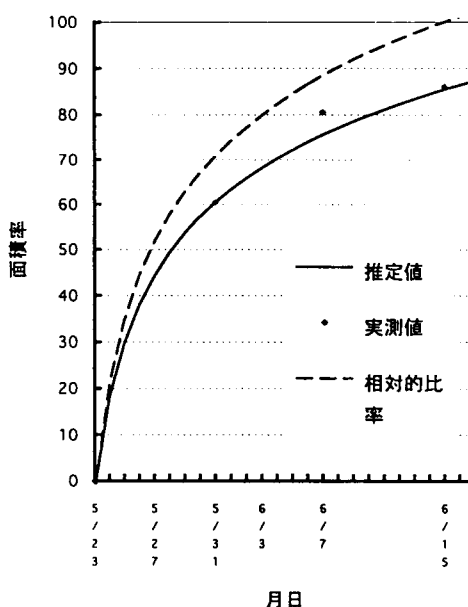


図-3 開葉時期の推定

5. お わ り に

フェノロジー調査は長期間にわたっておこなわなければならない。そのため簡単で容易にできる調査方法が望まれる。その点で写真撮影による方法は有用な方法である。得られた写真を画像データとして取り込み、葉の占める面積を定量的に算出できた。さらにそれを比較検討することで、開葉の程度を判定することができた。ここでは葉などの識別を判別関数によりおこなったが、このほかにも位置合わせによる直接比較などが考えられる。今後の課題として検討していきたい。なお、この研究は全国演習林協議会で提唱されている「森林地域における酸性雨等の地球環境モニタリング体制の確立」に関する研究の一部としておこなっているものである。また、この研究の一部は平成7年度文部省科学研究費試験(A)の補助を得ておこなった。