

ゴヨウマツの球果, 種鱗, 種子サイズの地理的変異

佐藤 卓

富山県立上市高等学校

〒930-0424 富山県上市町齊神新444

Geographic variations of the traits on the strobilus, seed scale and seed of *Pinus parviflora*

Takashi SATO

Kamiichi High School

444 Sainokamishin, Kamiichi-machi, Toyama 930-0424, JAPAN

Geographic variations of the traits on the strobilus, seed scale and seed of *Pinus parviflora* were examined. Cone samples were collected from twenty four populations in the natural range of the species. Four dimensions on the strobilus, three dimensions on the seed and two dimensions on the seed scale were measured and the number of scales and seeds on the seed scales in a strobilus were counted. The mean value of the length of the strobilus, maximum size of the scale length in a strobilus, length of the seed-wing and the ratio between the number of seeds and the number of seed scales, were negatively correlated with the estimated precipitation in June. The mean value of the number of sterile seed scale was positively correlated with the estimated precipitation in June. The mean value of the number of seeds per strobilus, the number of seed scales per strobilus and the index of openness of the seed scales in a strobilus were negatively correlated with the estimated precipitation in January. The mean value of the seed length was positively correlated with the estimated air temperature in March. As these characteristics implied geographic cline corresponding with the estimated climate of these populations, it was difficult to classify this species into the subgroup by strobilus size and seed-wing length.

Key words : *Pinus parviflora*, Strobilus, Seed, Seed scale, Geographic variation

キーワード : ゴヨウマツ, 球果, 種子, 種鱗, 地理的変異

はじめに

ゴヨウマツ (*Pinus parviflora*) は、北海道の日高地方と渡島半島から、本州、四国、九州の高隈山地まで広く分布している。日本以外では韓国のウルルン島に分布している。ゴヨウマツの中で、北方に分布する北方タイプをキタゴヨウ、南方に分布する南方タイプをヒメコマツと呼ぶ場合がある (Henry, 1900; 大井, 1953; 林, 1960; 北村・村田, 1979; 佐竹, 1989; Yamazaki, 1995)。林 (1969) によれば、「南方タイプの球果は小型で、長さ4~7cm, 径2.5~3.5cm, 熟しても裂開しない。種子の翼は種子の長さより短く、もろい。冬芽の先端はとがっている。葉は短く質が柔らかく、白味が薄い。分布は南に偏している」という。これに対して「北方タイプの

球果は大型で、長さ5~10cm, 径3~4cm, 熟すと著しく裂開する。種子の翼は種子の長さより長く、堅い。冬芽は卵形で先端が丸い。葉は長く質が堅く、白味が強い。分布は北に偏している」という。

このゴヨウマツの種内分類群の取扱い方について、石井 (1941) は、2つの変種の区別点は球果の形状と種翼の大きさにのみ存在するにもかかわらず、この性質で識別できない場合があることを指摘している。しかし、Ishii (1966) は北方タイプと南方タイプ以外に、韓国鬱陵島に産する種子が大きいタイプをオオミノゴヨウ (var. *macrocarpa*) と名づけて発表している。

Sato (2001) は日本産ゴヨウマツの針葉形質の地理的変異を解析し、針葉形質によって、北方タイプ

と南方タイプの2つのタイプに分類できないことを明らかにした。しかし、球果や種子の形質については、十分に形質の地理的変異の解析が行われていないので、今回は、球果と種鱗、種子の形質について、その地理的変異を明らかにし、それらの形質がどのような環境要因（主に気候因子）と関わっているかを明らかにすることにした。

材料及び方法

(1) 材料と計測方法

調査を行ったゴヨウマツの個体群は、北海道から九州までの日本国内の分布範囲を網羅するように24ヶ所を選び、サンプリングを行った（表1、図1）。球果のサンプルは1個体から1個を採取し、室内で乾燥した後、サイズを計測した。種鱗は基部から順番に切り取り、そのサイズを計測し、種子の数を数えた。種子のサイズは、球果の中央から取り出した10~20個の種子をサンプルとし、サイズを計測し、球果ごとにサイズの平均値を算出しそれを用いて集団の平均値を求めた。種子のサイズは、球果内に種子が残っている場合はその種子のサイズを計測し、種子が無い場合は、種鱗に残っている種子の跡から種子サイズを計測した。

計測した球果、種鱗、種子の部位を図2に示した。種鱗の裂開指数は

$$\text{裂開指数} = \text{球果の最大幅} / (\text{種鱗最大長} \times 2)$$

で求めた。この値が大きいと種鱗の裂開の程度が大きく、小さいと裂開の程度が小さいことになる。

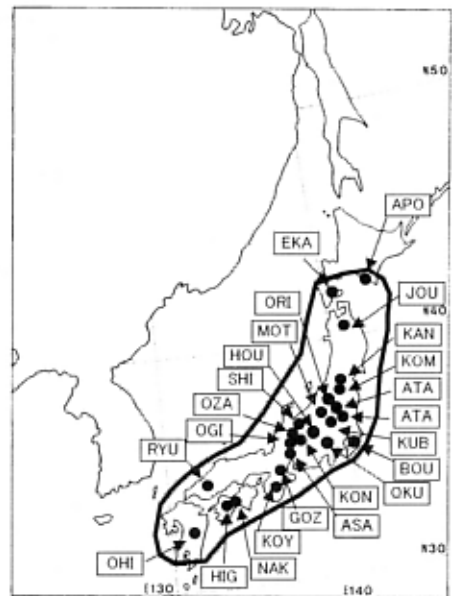


図1 ゴヨウマツの分布と調査地点
調査集団のコードは表1を参照

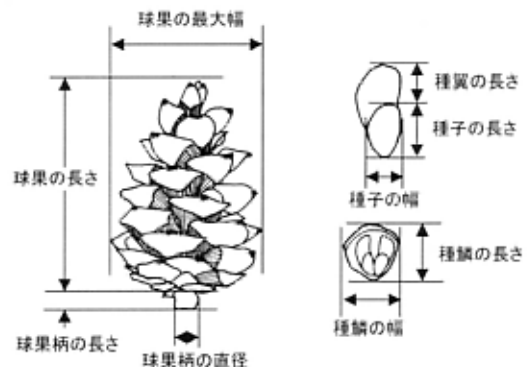


図2 計測した球果、種鱗、種子の部位

表1 ゴヨウマツの球果と種子のサイズ等を調査した集団

| No | 集団 | コード | 県名 | 緯度 (N°) | 経度 (E°) | 標高 (m) | 3次メッシュ | 樹高 (m) |
|----|--------|------|-----|---------|---------|--------|-----------|--------|
| 1 | アボイ山麓 | APO | 北海道 | 42.11 | 143.00 | 200 | 6343-1030 | 5-15 |
| 2 | 絵紙山 | EKA | 北海道 | 41.82 | 141.12 | 70 | 6241-5089 | 5-15 |
| 3 | 城ヶ倉溪谷 | JOU | 青森 | 40.65 | 140.81 | 700 | 6040-7684 | 5-15 |
| 4 | 観松平 | KAN | 山形 | 38.15 | 140.41 | 1410 | 5740-1373 | 5-15 |
| 5 | 駒草平 | KOM | 宮城 | 38.14 | 140.47 | 1080 | 5740-1367 | 4-8 |
| 6 | 安達太良山上 | ATA1 | 福島 | 37.62 | 140.32 | 1340 | 5640-3245 | 2-5 |
| 7 | 安達太良山下 | ATA2 | 福島 | 37.62 | 140.31 | 960 | 5640-3244 | 5-12 |
| 8 | 湯之谷村折立 | ORI | 新潟 | 37.21 | 139.08 | 350 | 5539-6046 | 10-15 |
| 9 | 水上久保 | KUB | 群馬 | 36.84 | 139.05 | 650 | 5539-2004 | 10-15 |
| 10 | 本白根山 | MOT | 群馬 | 36.64 | 138.53 | 2200 | 5438-7462 | 3-15 |
| 11 | 下ノ小平 | SHI | 富山 | 36.58 | 137.50 | 1460 | 5437-6399 | 10-15 |
| 12 | 小佐波山 | OZA | 富山 | 36.53 | 137.26 | 650 | 5437-6230 | 10-15 |
| 13 | 荻町 | OGI | 岐阜 | 36.26 | 136.91 | 540 | 5436-3712 | 10-15 |
| 14 | 小梨平 | KON | 岐阜 | 36.15 | 137.44 | 1100 | 5437-1375 | 10-15 |
| 15 | 鵬雲崎 | HOU | 長野 | 36.15 | 137.74 | 1000 | 5437-1579 | 10-15 |
| 16 | 旭 | ASA | 岐阜 | 35.75 | 136.97 | 400 | 5336-4797 | 10-15 |
| 17 | 奥庭 | OKU | 山梨 | 35.39 | 138.71 | 2200 | 5338-0566 | 5-10 |
| 18 | 房総 | BOU | 千葉 | 35.18 | 139.99 | 220 | 5239-6719 | 10-25 |
| 19 | 御在所山 | GOZ | 三重 | 35.02 | 136.43 | 960 | 5236-4324 | 5-15 |
| 20 | 高野山大滝 | KOY | 奈良 | 34.18 | 135.61 | 715 | 5135-2429 | 5-15 |
| 21 | 竜ヶ岳 | RYU | 山口 | 34.06 | 132.03 | 450 | 5132-0072 | 5-15 |
| 22 | 中之池 | NAK | 愛媛 | 33.83 | 133.23 | 450 | 5033-5198 | 5-15 |
| 23 | 東黒森 | HIG | 土佐 | 33.78 | 133.24 | 960 | 5033-5138 | 10-15 |
| 24 | 尾平 | OHI | 大分 | 32.82 | 131.39 | 540 | 4931-1381 | 5-15 |

計測した球果、種鱗、種子の代表的な写真を図5に示した。

(2) 方法

計測した球果、種鱗、種子のサイズや数などの集団平均値を算出し、それらの値と気象庁(2002)が発表しているサンプリング地点のメッシュ気候値(アメダス平年値から推定した平年値)との相関を解析した。気候値を用いて、産地の暖かさの指数(吉良ら, 1976)と日本海指数(鈴木・鈴木, 1971)を算出した。種鱗のサイズ(長さ)についてはアロメトリー解析を行い、アロメトリー指数を算出し、その指数の平均値を集団ごとに算出した。また、各形質を用いて、クラスター分析(SPSS解析ソフト)を行い、類似度に基づいてそれぞれの集団がどのように結合できるかを解析した。

結果

(1) 球果のサイズと球果あたりの種鱗数、種子数

球果のサイズを測定した結果を表1に示した。球果の長さの集団平均値は40.1~70.0mmで、全平均±標準偏差は57.5±9.1mmであった。この変動係数は15.8%であった。球果の最大幅の集団平均値は38.9~58.8mmで、全平均±標準偏差は47.0±5.4mmであった。この変動係数は11.5%であった。球果柄の集団平均値は2.3~4.9mmで、全平均±標準偏差は3.7±0.8mmであった。この変動係数は21.6%であった。球果柄の直径の集団平均値は3.6~6.0mmで、全平均±標準偏差は4.9±0.6mmであった。この変動係数は12.2%であった。

不稔種鱗数の集団平均値は20.3~42.2個で、全平均±標準偏差は27.2±5.5個であった。この変動係数は20.2%で球果のサイズの変動係数より大きな値であった。1個の種子を持つ種鱗数の集団平均値は3.2~10.4個で、全平均±標準偏差は6.9±2.0個であった。この変動係数は29.0%であった。2個の種子を持つ種鱗数の集団平均値は0.4~20.8個で、全平均±標準偏差は8.5±5.3個であった。この変動係数は62.4%で、球果の調査項目の中で、集団間で最も大きな変動を示した。種鱗数の集団平均値は20.3~50.4個で、全平均±標準

表2 球果のサイズ、種鱗数、種子数、種子サイズの平均値±標準偏差

| 集団コード | N | 球果のサイズと種鱗の性質 | | | | 種子のサイズ | | | | | | | |
|-------|----|--------------|----------|----------|----------|----------|-------------|-------------|----------|-------------|----------|---------|-----------|
| | | 長さ(mm) | 最大幅(mm) | 柄の長さ(mm) | 柄の直径(mm) | 不稔種鱗数計 | 1個の種子を持つ種鱗数 | 2個の種子を持つ種鱗数 | 種鱗数合計 | 球果1個あたりの種子数 | 長さ(mm) | 最大幅(mm) | 種子の翼長(mm) |
| APO | 16 | 67.0±1.2 | 54.4±0.6 | 4.6±0.3 | 6.0±0.2 | 22.8±1.0 | 5.1±0.6 | 12.7±1.4 | 40.6±1.2 | 30.5±2.5 | 10.1±0.1 | 6.1±0.2 | 10.1±0.6 |
| EKA | 21 | 65.6±1.2 | 51.7±0.4 | 4.3±0.3 | 5.5±0.2 | 23.0±0.7 | 4.4±0.5 | 12.9±1.1 | 40.4±0.9 | 30.3±1.9 | 10.0±0.1 | 6.6±0.0 | 8.8±0.1 |
| JOU | 12 | 63.9±2.1 | 50.3±1.2 | 3.5±0.5 | 4.7±0.1 | 30.1±2.2 | 7.1±0.8 | 4.9±1.1 | 42.1±2.2 | 16.9±1.7 | 9.8±0.1 | 6.0±0.1 | 9.2±0.2 |
| KAN | 19 | 55.9±1.6 | 43.2±1.2 | 4.8±0.4 | 4.8±0.2 | 26.4±0.7 | 7.6±0.9 | 9.7±1.2 | 43.6±1.3 | 27.0±2.4 | 9.6±0.2 | 6.8±0.2 | 5.6±0.4 |
| KOM | 21 | 56.2±2.0 | 46.1±1.3 | 3.5±0.2 | 4.8±0.1 | 24.4±1.1 | 7.9±1.4 | 9.9±2.6 | 42.1±0.9 | 27.6±4.0 | 9.3±0.1 | 5.9±0.1 | 6.7±0.2 |
| ATA1 | 13 | 57.8±3.8 | 48.7±2.0 | 3.8±0.4 | 5.7±0.2 | 24.3±1.0 | 8.9±1.2 | 15.1±1.9 | 48.3±2.2 | 39.1±3.3 | 10.6±0.3 | 6.3±0.1 | 6.8±0.2 |
| ATA2 | 13 | 67.8±2.4 | 53.5±1.6 | 4.9±0.6 | 5.3±0.1 | 23.0±0.8 | 6.7±2.2 | 12.7±1.9 | 42.3±1.8 | 32.0±2.3 | 9.8±0.3 | 6.1±0.6 | 11.4±2.1 |
| ORI | 8 | 60.9±2.9 | 43.4±1.5 | 4.7±0.4 | 4.6±0.1 | 22.4±1.7 | 5.6±1.1 | 4.4±1.1 | 20.3±5.8 | 9.0±3.0 | 10.4±0.2 | 6.3±0.2 | 7.7±0.3 |
| KUB | 20 | 70.0±2.4 | 58.8±1.0 | 3.3±0.2 | 5.1±0.1 | 22.6±1.8 | 8.5±2.1 | 11.8±2.6 | 42.9±2.1 | 32.1±3.6 | 10.0±0.3 | 7.1±0.5 | 9.3±0.4 |
| MOT | 9 | 59.9±2.1 | 51.2±1.0 | 3.2±0.2 | 5.1±0.2 | 37.9±1.9 | 9.9±1.0 | 2.7±0.5 | 50.4±0.9 | 15.2±1.5 | 9.7±0.2 | 5.7±0.2 | 7.1±0.3 |
| SHI | 27 | 65.6±1.9 | 48.2±1.1 | 4.2±0.3 | 5.6±0.2 | 26.4±1.1 | 10.4±0.7 | 7.7±1.1 | 44.7±1.4 | 25.7±2.2 | 9.9±0.2 | 6.5±0.1 | 6.5±0.2 |
| OZA | 21 | 58.4±1.9 | 45.3±1.6 | 3.8±0.2 | 5.0±0.1 | 25.2±1.0 | 4.9±0.5 | 12.0±1.1 | 42.1±1.4 | 28.9±2.1 | 10.8±0.6 | 6.1±0.4 | 8.0±1.0 |
| OGI | 14 | 57.5±1.7 | 43.1±1.0 | 2.5±0.3 | 4.4±0.2 | 31.1±1.4 | 7.8±1.3 | 3.0±0.9 | 41.9±1.9 | 13.8±2.2 | 9.5±0.3 | 5.7±0.1 | 6.7±0.2 |
| KON | 16 | 67.3±1.9 | 52.7±1.2 | 3.4±0.2 | 5.4±0.3 | 22.3±1.1 | 4.7±0.9 | 20.8±1.8 | 47.8±1.5 | 46.3±3.0 | 9.8±0.2 | 6.2±0.1 | 6.9±0.2 |
| HOU | 10 | 69.8±2.1 | 52.9±0.7 | 4.3±0.3 | 4.8±0.3 | 28.3±1.6 | 8.8±0.8 | 9.1±2.1 | 46.2±2.1 | 27.0±3.9 | 11.0±0.2 | 6.5±0.1 | 7.6±0.2 |
| ASA | 21 | 57.4±1.6 | 49.0±1.5 | 2.3±0.3 | 4.9±0.2 | 25.2±1.2 | 7.3±1.0 | 11.0±1.6 | 27.2±2.1 | 18.3±3.1 | 11.1±0.3 | 6.2±0.2 | 7.9±0.4 |
| OKU | 14 | 42.5±2.1 | 38.9±2.1 | 3.1±0.2 | 3.7±0.2 | 26.8±2.7 | 4.1±0.9 | 1.7±0.7 | 32.6±2.1 | 7.4±2.0 | 10.8±0.3 | 5.4±0.3 | 3.9±0.4 |
| BOU | 14 | 42.5±2.1 | 38.9±2.1 | 3.1±0.2 | 3.7±0.2 | 26.8±2.7 | 4.1±0.9 | 1.7±0.7 | 32.6±2.1 | 7.4±2.0 | 10.8±0.3 | 5.4±0.3 | 3.9±0.4 |
| GOZ | 20 | 47.6±1.7 | 43.9±0.8 | 3.4±0.3 | 5.0±0.1 | 26.0±1.3 | 7.5±0.7 | 5.3±1.1 | 38.8±1.5 | 18.1±2.2 | 9.8±0.2 | 6.3±0.2 | 6.2±0.2 |
| KOY | 21 | 59.7±1.4 | 44.2±0.7 | 4.1±0.2 | 5.0±0.1 | 25.6±1.7 | 9.4±1.1 | 10.9±1.4 | 45.9±1.9 | 31.2±2.3 | 10.6±0.2 | 6.1±0.1 | 5.1±0.3 |
| RYU | 5 | 40.1±1.3 | 39.2±1.1 | 2.9±0.5 | 3.6±0.1 | 38.0±2.1 | 3.2±0.3 | 0.4±0.2 | 41.6±2.2 | 4.0±0.7 | 10.5±0.3 | 6.3±0.2 | 5.6±0.6 |
| NAK | 17 | 52.9±1.7 | 43.8±1.5 | 4.5±0.5 | 5.0±0.2 | 20.3±0.3 | 5.5±0.9 | 14.0±1.3 | 39.8±0.5 | 33.5±1.9 | 10.9±0.2 | 6.6±0.2 | 4.5±0.1 |
| HIG | 17 | 48.6±1.7 | 44.6±0.9 | 2.9±0.2 | 4.8±0.2 | 32.4±1.4 | 8.8±1.0 | 9.1±1.5 | 50.2±1.9 | 26.9±3.1 | 10.8±0.2 | 5.9±0.1 | 5.2±0.4 |
| OHI | 8 | 44.4±2.4 | 41.9±1.9 | 2.8±0.1 | 3.9±0.2 | 42.2±4.4 | 6.4±0.7 | 1.0±0.4 | 49.6±3.9 | 8.4±1.1 | 11.4±0.2 | 6.3±0.3 | 4.4±0.4 |

偏差は 41.4 ± 7.2 個であった。この変動係数は17.4%で、球果のサイズとほぼ同じ変動を示した。球果1個あたりの種子数の集団平均値は4.0~46.3個で、全平均±標準偏差は 23.2 ± 11.1 個であった。この変動係数は47.8%と集団間で大きな変動が見られることがわかった。

(2) 種子のサイズ

種子のサイズの調査結果を表1に示した。種子の長さの集団平均値は9.3~11.4mmで、全平均±標準偏差は 10.3 ± 0.6 mmであった。この変動係数は5.8%であった。種子の最大幅の集団平均値は5.4~7.1mmで、全平均±標準偏差は 6.2 ± 0.4 mmであった。この変動係数は6.5%であった。種子の翼長の集団平均値は3.9~11.0mmで、全平均±標準偏差は 6.9 ± 1.9 mmであった。この変動係数は27.5%で、種子のサイズでは最も大きな値であった。

(3) 種鱗サイズのアロメトリー解析結果

種鱗の長さとの関係についてアロメトリー解析を行った。解析に用いた種鱗は基部から種子が形成される30枚目までである。その結果を表3に示した。アロメトリー指数Aの集団平均値は1.228~2.043で、全平均値は 1.571 ± 0.254 であった。この変動係数は16.2%であった。アロメトリー指数Bの集団平均値は0.689~0.945で、全平均値は 0.822 ± 0.062 であっ

た。この変動係数は7.5%であった。回帰式の決定係数の集団平均値は0.873~0.961で、それぞれの回帰式が有意な相関 ($p < 0.05$) を示していることが示された。

(4) 種鱗の性質

種鱗の開閉指数、種鱗の最大長の平均値、種鱗数と種子数の比の集団平均値を表3に示した。種鱗の開閉指数が大きいと、球果の軸に対して斜めに種鱗がつき、開きが弱いことを示す。小さい値になると球果の軸に対して垂直に近くに種鱗がつき、開きが大きいことを示す。集団平均値は0.822~1.105で、全平均値は 0.989 ± 0.066 であった。この変動係数は6.7%であった。種鱗の最大値の集団平均値は20.3~29.4mmで、全平均値は 24.9 ± 2.4 mmであった。この変動係数は9.6%であった。種鱗数と種子数の比の集団平均値は0.055~0.490で、全平均値は 0.285 ± 0.116 であった。この変動係数は40.7%であった。

考 察

(1) 気候因子と球果、種鱗、種子のサイズ等との相関

気候因子と球果、種鱗、種子のサイズ等との相関係数を表4に示した。また、相関が認められた形質と気候因子の関係を図3に示した。

表3 種鱗サイズのアロメトリー解析結果と、種鱗の性質の調査結果

| 集団コード | N | 長さとの関係 指数A* | 長さとの関係 指数B* | 決定係数 r^2 | 種鱗の 開閉指数** | 種鱗の 最大長の平均 | 種鱗数と 種子数の比*** |
|-------|----|-------------------|-------------------|-------------|-------------------|----------------|-------------------|
| APO | 10 | 1.751 ± 0.122 | 0.770 ± 0.021 | 0.928-0.977 | 0.995 ± 0.035 | 27.2 ± 1.4 | 0.412 ± 0.016 |
| EKA | 10 | 1.684 ± 0.055 | 0.827 ± 0.013 | 0.961-0.990 | 1.022 ± 0.010 | 26.8 ± 0.4 | 0.391 ± 0.032 |
| JOU | 10 | 2.043 ± 0.121 | 0.718 ± 0.024 | 0.946-0.983 | 0.959 ± 0.013 | 25.7 ± 0.6 | 0.220 ± 0.031 |
| KAN | 10 | 1.404 ± 0.075 | 0.868 ± 0.019 | 0.942-0.982 | 0.887 ± 0.043 | 23.1 ± 1.4 | 0.317 ± 0.037 |
| KOM | 7 | 1.677 ± 0.081 | 0.794 ± 0.013 | 0.873-0.979 | 0.984 ± 0.020 | 23.5 ± 0.9 | 0.332 ± 0.039 |
| ATA1 | 10 | 1.237 ± 0.141 | 0.902 ± 0.040 | 0.876-0.959 | 1.080 ± 0.034 | 24.8 ± 0.8 | 0.410 ± 0.030 |
| ATA2 | 4 | 1.557 ± 0.097 | 0.832 ± 0.028 | 0.931-0.968 | 1.037 ± 0.016 | 26.2 ± 0.9 | 0.347 ± 0.029 |
| ORI | 5 | 1.808 ± 0.094 | 0.789 ± 0.023 | 0.936-0.981 | 0.822 ± 0.010 | 25.0 ± 0.7 | 0.224 ± 0.038 |
| KUB | 10 | 1.307 ± 0.112 | 0.888 ± 0.026 | 0.951-0.985 | 0.993 ± 0.012 | 29.4 ± 0.8 | 0.413 ± 0.038 |
| MOT | 9 | 1.994 ± 0.159 | 0.689 ± 0.029 | 0.883-0.948 | 0.995 ± 0.036 | 25.8 ± 0.5 | 0.152 ± 0.018 |
| SHI | 10 | 1.228 ± 0.183 | 0.945 ± 0.043 | 0.900-0.967 | 1.001 ± 0.051 | 25.4 ± 1.3 | 0.338 ± 0.025 |
| OZA | 10 | 1.981 ± 0.108 | 0.759 ± 0.018 | 0.939-0.984 | 0.883 ± 0.018 | 26.6 ± 1.4 | 0.337 ± 0.030 |
| OGI | 10 | 1.682 ± 0.112 | 0.810 ± 0.029 | 0.924-0.978 | 0.916 ± 0.015 | 22.6 ± 0.7 | 0.182 ± 0.032 |
| KON | 10 | 1.380 ± 0.088 | 0.896 ± 0.021 | 0.916-0.984 | 1.065 ± 0.025 | 25.6 ± 0.6 | 0.490 ± 0.027 |
| HOU | 10 | 1.311 ± 0.051 | 0.868 ± 0.013 | 0.945-0.986 | 1.026 ± 0.012 | 25.8 ± 0.3 | 0.288 ± 0.036 |
| ASA | 10 | 1.428 ± 0.135 | 0.875 ± 0.032 | 0.915-0.977 | 0.938 ± 0.027 | 27.8 ± 0.9 | 0.301 ± 0.045 |
| OKU | 8 | 1.388 ± 0.124 | 0.811 ± 0.032 | 0.909-0.986 | 1.042 ± 0.021 | 29.0 ± 0.7 | 0.200 ± 0.030 |
| BOU | 9 | 1.498 ± 0.102 | 0.795 ± 0.028 | 0.873-0.974 | 1.105 ± 0.036 | 20.5 ± 0.8 | 0.122 ± 0.031 |
| GOZ | 10 | 1.756 ± 0.121 | 0.793 ± 0.023 | 0.885-0.972 | 1.054 ± 0.028 | 22.9 ± 0.7 | 0.218 ± 0.018 |
| KOY | 10 | 1.273 ± 0.059 | 0.899 ± 0.017 | 0.920-0.979 | 0.979 ± 0.024 | 22.9 ± 0.3 | 0.335 ± 0.037 |
| RYU | 5 | 1.567 ± 0.090 | 0.777 ± 0.023 | 0.929-0.971 | 0.966 ± 0.014 | 20.3 ± 0.6 | 0.055 ± 0.012 |
| NAK | 8 | 1.916 ± 0.125 | 0.788 ± 0.017 | 0.928-0.978 | 1.017 ± 0.020 | 24.0 ± 0.8 | 0.441 ± 0.019 |
| HIG | 9 | 1.352 ± 0.048 | 0.850 ± 0.019 | 0.937-0.987 | 1.001 ± 0.023 | 22.6 ± 0.6 | 0.240 ± 0.031 |
| OHI | 5 | 1.481 ± 0.088 | 0.774 ± 0.013 | 0.947-0.967 | 0.972 ± 0.013 | 23.2 ± 0.9 | 0.083 ± 0.015 |

* : 種鱗の幅 = A * 種鱗の長さ ~ B の A, B の球果ごとの平均値と標準誤差 (球果柄基部から30枚目までの種鱗を解析)

** : 種鱗の最大長 * 2 / 球果の幅の平均値と標準誤差

*** : 種子数 / 種鱗数 / 2 の平均値と標準誤差

表4 球果と種子のサイズ等と気候平年値との相関係数

| 球果と種子のサイズ等 | 平均気温 | | | | | | | | | | | | 日本海指数 | 緯度 | 経度 | 標高 | | |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | | | | | 年 | |
| 球果のサイズ | | | | | | | | | | | | | | WI | | | | |
| 長さ(mm) | -0.374 | -0.378 | -0.383 | -0.352 | -0.273 | -0.247 | -0.238 | -0.163 | -0.245 | -0.306 | -0.329 | -0.340 | -0.313 | -0.327 | 0.335 | 0.605 | 0.534 | -0.049 |
| 最大幅(mm) | -0.405 | -0.406 | -0.381 | -0.374 | -0.328 | -0.325 | -0.320 | -0.253 | -0.299 | -0.344 | -0.349 | -0.367 | -0.355 | -0.373 | 0.091 | 0.554 | 0.470 | -0.021 |
| 柄の長さ(mm) | -0.201 | -0.200 | -0.262 | -0.274 | -0.247 | -0.241 | -0.219 | -0.171 | -0.180 | -0.147 | -0.173 | -0.172 | -0.215 | -0.240 | 0.082 | 0.447 | 0.427 | -0.035 |
| 柄の直径(mm) | -0.415 | -0.435 | -0.426 | -0.407 | -0.392 | -0.390 | -0.372 | -0.315 | -0.329 | -0.341 | -0.364 | -0.383 | -0.391 | -0.420 | -0.040 | 0.549 | 0.446 | 0.020 |
| 種鱗の数、種子数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 不稔種鱗数計 | 0.079 | 0.100 | 0.141 | 0.148 | 0.109 | 0.097 | 0.091 | 0.011 | 0.024 | 0.030 | 0.055 | 0.062 | 0.086 | 0.108 | -0.197 | -0.399 | -0.535 | 0.172 |
| 1個の種子を持つ種鱗数 | -0.364 | -0.378 | -0.361 | -0.276 | -0.252 | -0.225 | -0.243 | -0.311 | -0.369 | -0.414 | -0.392 | -0.369 | -0.337 | -0.340 | -0.134 | -0.074 | 0.010 | 0.413 |
| 2個の種子を持つ種鱗数 | -0.223 | -0.235 | -0.227 | -0.202 | -0.208 | -0.206 | -0.201 | -0.168 | -0.180 | -0.194 | -0.202 | -0.211 | -0.211 | -0.240 | -0.129 | 0.303 | 0.264 | -0.095 |
| 種鱗数合計 | -0.333 | -0.333 | -0.284 | -0.250 | -0.304 | -0.335 | -0.338 | -0.403 | -0.394 | -0.391 | -0.348 | -0.332 | -0.338 | -0.359 | -0.407 | -0.089 | -0.220 | 0.326 |
| 球果1個あたりの種子数 | -0.329 | -0.343 | -0.333 | -0.300 | -0.308 | -0.312 | -0.309 | -0.293 | -0.306 | -0.320 | -0.315 | -0.316 | -0.323 | -0.357 | -0.171 | 0.285 | 0.254 | 0.038 |
| 種子のサイズ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長さ(mm) | 0.488 | 0.523 | 0.578 | 0.547 | 0.498 | 0.467 | 0.453 | 0.401 | 0.454 | 0.461 | 0.506 | 0.478 | 0.498 | 0.496 | -0.232 | -0.534 | -0.518 | -0.223 |
| 最大幅(mm) | 0.141 | 0.135 | 0.102 | 0.121 | 0.154 | 0.178 | 0.192 | 0.198 | 0.172 | 0.168 | 0.139 | 0.143 | 0.152 | 0.125 | 0.025 | 0.125 | -0.065 | -0.229 |
| 種子の翼長(mm) | -0.277 | -0.277 | -0.289 | -0.279 | -0.200 | -0.182 | -0.164 | -0.058 | -0.126 | -0.164 | -0.207 | -0.228 | -0.214 | -0.223 | 0.347 | 0.720 | 0.577 | -0.228 |
| 種鱗のサイズ等 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長さとの関係指数A | 0.036 | 0.036 | 0.007 | -0.007 | 0.014 | 0.022 | 0.052 | 0.090 | 0.080 | 0.096 | 0.062 | 0.061 | 0.047 | 0.063 | 0.282 | 0.300 | 0.118 | -0.207 |
| 長さとの関係指数B | -0.021 | -0.035 | -0.022 | 0.018 | 0.030 | 0.039 | 0.019 | 0.006 | -0.015 | -0.053 | -0.041 | -0.042 | -0.013 | -0.036 | -0.118 | -0.129 | -0.005 | 0.093 |
| 種鱗の閉度指数 | -0.120 | -0.118 | -0.050 | -0.100 | -0.170 | -0.250 | -0.267 | -0.263 | -0.191 | -0.168 | -0.092 | -0.106 | -0.157 | -0.180 | -0.532 | -0.086 | 0.075 | 0.199 |
| 種鱗の最大長の平均 | -0.449 | -0.442 | -0.412 | -0.443 | -0.397 | -0.375 | -0.376 | -0.307 | -0.342 | -0.381 | -0.390 | -0.429 | -0.404 | -0.408 | 0.128 | 0.438 | 0.445 | 0.212 |
| 種鱗数と種子数の比 | -0.277 | -0.295 | -0.302 | -0.291 | -0.280 | -0.272 | -0.263 | -0.214 | -0.227 | -0.239 | -0.254 | -0.262 | -0.272 | -0.304 | -0.039 | 0.404 | 0.386 | -0.040 |

| 球果と種子のサイズ等 | 平均降水量 | | | | | | | | | | | | 日照時間 | | | | | |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 年 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 | |
| 球果と種子のサイズ等 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 球果のサイズ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長さ(mm) | 0.187 | 0.053 | -0.421 | -0.548 | -0.533 | -0.606 | -0.291 | -0.374 | -0.364 | -0.194 | 0.224 | 0.233 | -0.319 | 0.423 | 0.388 | 0.415 | 0.399 | -0.346 |
| 最大幅(mm) | -0.094 | -0.179 | -0.521 | -0.467 | -0.400 | -0.466 | -0.262 | -0.262 | -0.256 | -0.371 | -0.063 | -0.063 | -0.412 | 0.278 | 0.189 | 0.211 | 0.250 | -0.161 |
| 柄の長さ(mm) | 0.068 | -0.112 | -0.448 | -0.557 | -0.482 | -0.462 | -0.315 | -0.141 | -0.304 | 0.091 | 0.076 | 0.064 | -0.312 | 0.019 | 0.070 | 0.085 | 0.076 | -0.305 |
| 柄の直径(mm) | -0.064 | -0.188 | -0.487 | -0.414 | -0.334 | -0.397 | -0.186 | -0.050 | -0.095 | -0.104 | 0.074 | -0.010 | -0.265 | 0.042 | 0.024 | 0.059 | 0.015 | -0.294 |
| 種鱗の数、種子数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 不稔種鱗数計 | -0.184 | -0.059 | 0.158 | 0.308 | 0.308 | 0.473 | 0.386 | 0.208 | 0.046 | -0.286 | -0.230 | -0.160 | 0.154 | -0.038 | -0.075 | -0.081 | -0.079 | 0.185 |
| 1個の種子を持つ種鱗数 | -0.002 | 0.040 | -0.110 | -0.068 | -0.026 | 0.057 | 0.280 | 0.233 | 0.202 | -0.231 | 0.032 | 0.038 | 0.117 | 0.222 | 0.137 | 0.201 | 0.191 | -0.413 |
| 2個の種子を持つ種鱗数 | -0.163 | -0.244 | -0.398 | -0.238 | -0.251 | -0.296 | -0.163 | 0.002 | 0.019 | -0.107 | -0.108 | -0.174 | -0.259 | -0.181 | -0.193 | -0.191 | -0.201 | -0.160 |
| 種鱗数合計 | -0.497 | -0.440 | -0.428 | -0.149 | -0.106 | 0.093 | 0.173 | 0.170 | 0.044 | -0.506 | -0.460 | -0.438 | -0.267 | -0.165 | -0.283 | -0.257 | -0.241 | -0.085 |
| 球果1個あたりの種子数 | -0.220 | -0.290 | -0.481 | -0.327 | -0.315 | -0.307 | -0.144 | 0.014 | 0.016 | -0.191 | -0.167 | -0.212 | -0.309 | -0.140 | -0.185 | -0.167 | -0.169 | -0.240 |
| 種子のサイズ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長さ(mm) | -0.076 | 0.023 | 0.469 | 0.545 | 0.545 | 0.544 | 0.379 | 0.361 | 0.392 | 0.335 | -0.022 | -0.082 | 0.417 | -0.402 | -0.306 | -0.326 | -0.404 | 0.355 |
| 最大幅(mm) | 0.035 | -0.009 | -0.267 | -0.214 | -0.213 | -0.112 | 0.054 | -0.003 | -0.205 | -0.421 | -0.146 | -0.002 | -0.139 | 0.008 | 0.000 | 0.055 | 0.080 | -0.124 |
| 種子の翼長(mm) | 0.165 | 0.007 | -0.422 | -0.497 | -0.468 | -0.556 | -0.419 | -0.394 | -0.422 | -0.238 | 0.201 | 0.151 | -0.366 | 0.384 | 0.381 | 0.357 | 0.367 | -0.318 |
| 種鱗のサイズ等 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長さとの関係指数A | 0.227 | 0.099 | -0.071 | -0.267 | -0.243 | -0.253 | -0.378 | -0.197 | -0.289 | 0.100 | 0.198 | 0.237 | -0.125 | 0.291 | 0.343 | 0.274 | 0.281 | -0.162 |
| 長さとの関係指数B | -0.031 | 0.037 | 0.058 | 0.159 | 0.094 | 0.060 | 0.299 | 0.118 | 0.242 | -0.044 | 0.037 | -0.023 | 0.148 | -0.173 | -0.193 | -0.115 | -0.172 | -0.038 |
| 種鱗の閉度指数 | -0.664 | -0.573 | -0.208 | 0.072 | 0.171 | 0.132 | 0.028 | 0.082 | 0.280 | -0.083 | -0.435 | -0.599 | -0.247 | -0.396 | -0.503 | -0.494 | -0.469 | 0.377 |
| 種鱗の最大長の平均 | 0.145 | 0.093 | -0.197 | -0.309 | -0.227 | -0.359 | -0.167 | -0.064 | 0.019 | 0.117 | 0.197 | 0.160 | -0.072 | 0.383 | 0.326 | 0.344 | 0.377 | -0.108 |
| 種鱗数と種子数の比 | -0.066 | -0.168 | -0.421 | -0.374 | -0.363 | -0.429 | -0.241 | -0.055 | -0.033 | -0.015 | -0.008 | -0.055 | -0.274 | -0.034 | -0.054 | -0.032 | -0.032 | -0.218 |

平均気温、降水量、積雪深は気象庁(2000)のメッシュ気候値を用いた。下線を引いた相関係数は、統計的に相関が認められた(p<0.05)関係を示す。

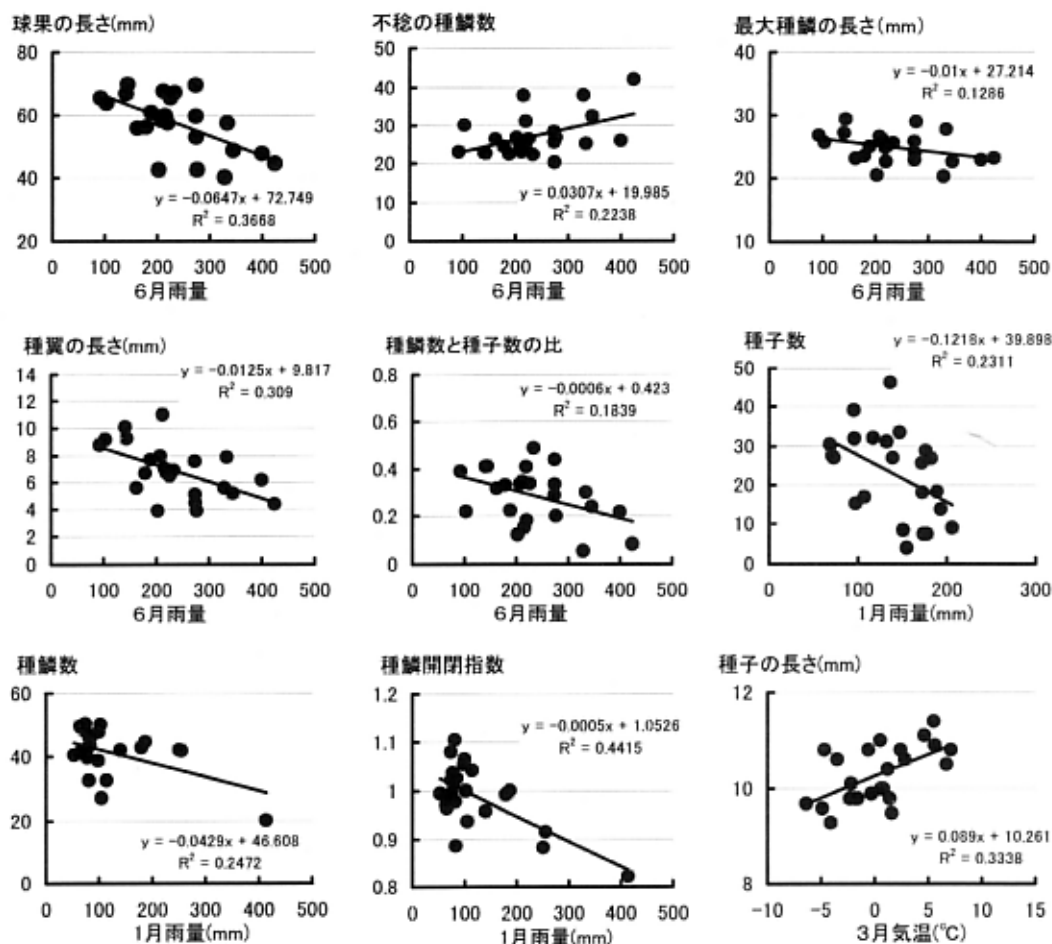


図3 球果、種鱗、種子の各形質と気候因子との関係

球果の長さは6月の平均降水量と最も強い負の相関が認められた ($r = -0.606$, $p < 0.05$)。球果の最大幅は3月の平均降水量と最も強い負の相関が認められた ($r = -0.521$, $p < 0.05$)。球果の長さと最大幅は、3月～6月までの各月の平均降水量とも負の相関が認められることから、春から初夏にかけての降水量が多いと球果の成長が悪いことを示唆する。同様に3月の平均降水量と球果の柄の長さとも負の相関を示したことから、春期の降水量が多いと球果柄の発達が悪いことを示唆する。富山県立山では、7月に受粉した若い球果は受粉後長さ1.8cmまで成長し、10月には成長が止まり、翌年の6月から急激な成長を始め、9月には5～10cmにまで伸びることを佐藤(2001)が報告している。中井ら(1978)は球果の成長開始は受粉翌年の3月の日平均気温が5℃前後になった時点で、種類に関係なくほぼ一斉に始まることを報告している。さらに、単維管束マツに属する種類(ゴヨウマツを含む)は6月下旬に球果の成長が止まることを報告している。このことから6月の降水量が多いと、日照時間が減少することか

ら、光合成生産量が減少し、球果の成長にマイナスの影響を与えられられる。

不稔種鱗数は6月の平均降水量と正の相関が認められた ($r = 0.473$, $p < 0.05$)。6月～7月はゴヨウマツの開花時期であるため、降水量が多くなると受粉機会が減少し、不稔の種鱗が増えるのではないかとされる。1個の種子を持つ種鱗数と2個の種子を持つ種鱗数は気候因子との間に統計的に有意な相関は認められなかった。種鱗数は10月の平均降水量と最も強い負の相関が認められた ($r = -0.506$, $p < 0.05$)。また、10月～3月までの平均降水量と負の相関が認められることから、秋から冬の期間に降水量が多いと、種鱗数が減少することを示唆している。秋から冬に、冬芽の中で雌花序が形成されることから、その頃に雨が多いと、種鱗数が減少することが示唆される。球果1個あたりの種子数は3月の平均降水量と最も強い負の相関が認められた ($r = -0.481$, $p < 0.05$)。これは種鱗上で行われる卵細胞形成が、この頃に降水量が多いと抑制されることを示唆する。

種子の長さは3月の平均気温と最も強い正の相関

が認められた ($r=0.578$, $p<0.05$)。この形質は年平均気温とも相関が認められることから、気温が高いと種子が長くなることを示唆する。また、3月~6月の平均降水量とも正の相関が認められることから、春季の気候が、高温で降水量が多いと種子が長くなることを示唆する。種子の最大幅は10月の平均降水量と負の相関が認められた ($r=-0.421$, $p<0.05$)。この頃に雨が多いと種子の幅が大きくなることを示唆する。

種鱗の形態変異傾向を示す種鱗サイズのアロメトリ指数のAとBは、共に気候因子との相関が認められなかった。このことから、この分類群が持つ種鱗の形を決める変異傾向は気候因子によって影響を受けていないことを示唆する。種鱗の開閉指数は1月の平均降水量と最も強い負の相関が認められた ($r=-0.664$, $p<0.05$)。11月~2月の平均降水量、日本海指数、1月~3月の平均積雪深とも負の相関が認められたことから、冬期の降水量が多いと種鱗の裂開が大きく、少ないと種鱗の裂開が小さくなることを示唆している。種鱗の最大長は1月の平均気温とも負の相関が認められた ($r=-0.449$, $p<0.05$)。12月~4月の月平均気温とも負の相関が認められたことから、冬期の気温が低いと種鱗が大きくなる傾向を示唆する。冬期の低温から種子を守るために種鱗のサイズを大きくする適応現象と考えられる。種鱗数と種子数との比は、準備された卵細胞の内、受精して種子が形成された割合を示す値である。この値は6月の平均降水量と負の相関が認められた ($r=-0.429$, $p<0.05$)。3月の平均降水量とも負の相関が認められた。春から初夏にかけては、受粉が行われる頃であると同時に、前年の初夏に珠心に入って休眠していた花粉が発芽して花粉管を伸ばして受精させ、胚形成がおこなわれる時期でもある (Foster and Gifford, 1974)。種子の形成には大事なこの時期に、降水量が多くなると、花粉飛散が少なくなり、受粉機会が減少するためと考えられる。

(2) クラスタ分析の結果

球果, 種鱗, 種子から得られた17形質の集団平均値を用いてクラスタ分析を行った。ユークリッド平均距離法, 平均連結法を用いて作図したデンドログラムを図4に示した。その結果, 2つに分けられたクラスタの1つはAPO, ATA, AKA, KUB, SHI, HOUなど17集団で, 北海道, 本州東北部, 北陸, 紀伊, 四国に分布していた。もう1つのクラスタを構成するクラスタの集団はORI, GOZ, BOU, OKU, RYU, OHIなど7集団で, 本州関東,

紀伊, 中国山口, 九州に分布していた。これらの2つのクラスタはこれまで種内分類群として林(1960)らが区分している南方タイプと北方タイプの分布域とよく似ている。しかし, 2つのクラスタの中で, 下位のクラスタが, ほぼ同じ平均距離を持ちながら結合していく様子を読み取れる。すなわち下位のクラスタが, 連続して結合して上位クラスタを形成していることから, 球果や種鱗, 種子の形質は連続的に変異していると考えの方が妥当であると考えられた。このことから, 南方タイプと北方タイプの2つのグループに分けることは困難であると考えられた。

(3) まとめ

球果, 種鱗, 種子サイズに見られる地理的変異は, 多くの場合, 気候因子で説明できることが明らかになった。また, 2つのグループに大別はされるが, 連続的な変異と考えられるので, 球果のサイズ, 種子のサイズ, 種鱗の開閉度などの個々の形質によって, 南方タイプと北方タイプの2つのグループに分ける必然性が無いと考えられた。

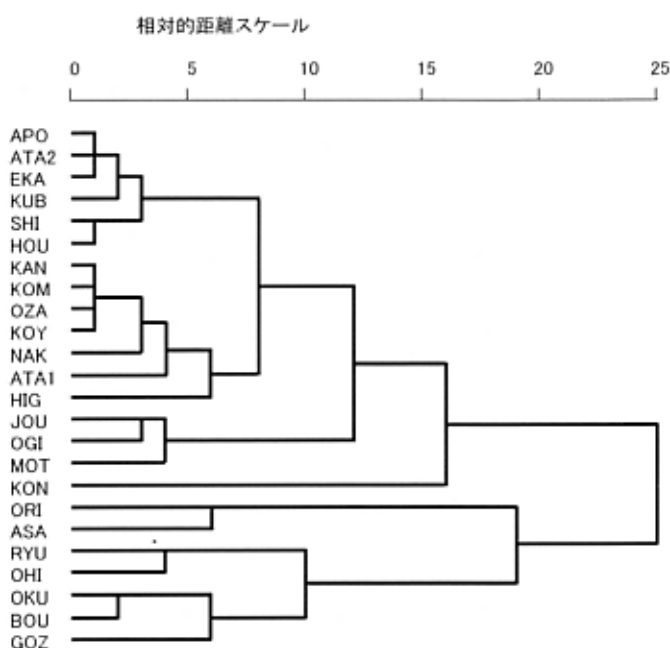


図4 球果等24個の測定形質の平均値を用いた平均連結法によるクラスタ分析の結果

文 献

Foster, A.S. and Gifford, E. M., 1974. Comparative Morphology of Vascular Plants. pp.496-510. Freeman. San Francisco.
 林弥栄, 1960. 日本産針葉樹の分類と分布, pp.1-202. 農林出版, 東京.
 林弥栄, 1969. 有用樹木図説, p57-61. 誠文堂新光社, -

- 東京.
- Henry, A., 1900. Pinaceae. In Elwes, H.J. and Henry, A. eds. "The trees of Great Britain & Ireland", pp.1033-1035.
- 石井盛次, 1941. ハヒマツ並びに北日本産五葉松類の諸型と其の分布 (V). 日林誌 23: 107-114.
- Ishii, S., 1966. On three varieties of *Pinus penthaphylla* and their interrelationship. J. Jap. Bot. 41:108-110
- 気象庁, 2002. メッシュ気候値 CD-ROM. 気象業務センター, 東京.
- 北村四郎・村田源, 1979. 原色日本植物図鑑木本編 (II), pp.426-429. 保育社, 大阪.
- 吉良龍夫・四手井綱秀・沼田真・依田恭二, 1976. 日本の植生—世界の植生配置の中での位置づけ. 科学. 46: 235-247.
- 大井次三郎, 1953. 日本植物誌, pp.44-46. 至文堂, 東京.
- 中井勇・大畠誠一・藤本博次, 1978. マツ属の球果の発達. 京都大学農学部附属演習林報告 50: 32-43.
- 佐竹義輔, 1989. マツ属, 佐竹義輔ら編, 「日本の野生植物木本 I, pp.6-8. 平凡社.
- Sato, T., 2001. Geographic variations of *Pinus parviflora* Needle Characteristics. J.Jpn.Bot. 76: 263-274.
- 佐藤卓, 2001. 富山県立山におけるハイマツ, ハッコウダゴヨウ, ゴヨウマツの球果の形成について. 富山市科学文化センター研究報告 24: 73-81.
- 鈴木時夫・鈴木和子, 1971. 日本海指数と瀬戸内海指数. 日本生態学会誌 20: 252-255.
- Yamazaki, T., 1995. Pinaceae. In Iwatsuki et al. eds. "Flora of Japan. 1", pp.275. Kodansha, Tokyo.

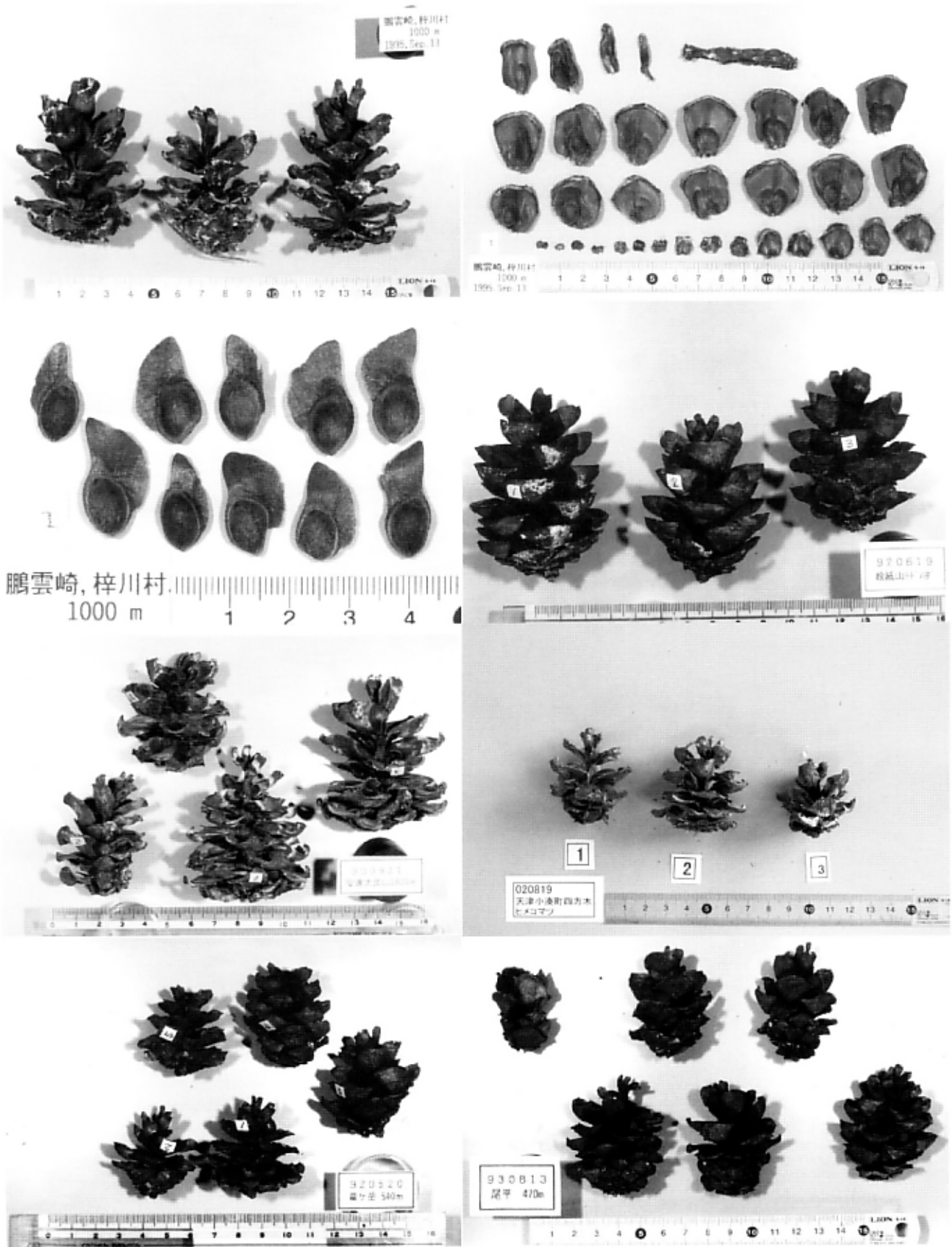


図5 調査した球果、種鱗、種子の例