

広葉樹の葉フェノロジー  
—上阿多古フィールド苗畑・森林ビオトープにおける長期観測—

藤 本 征 司\*

Leaf Phenology in Broad-leaved Trees—The Long-term Observation at the Nursery and a Forest Biotope of the Kamiatago Field, Shizuoka University

Seishi FUJIMOTO\*

Summary

Leaf phenology was investigated in 13 species for 12 years at the Kamiatago Field of Shizuoka University, Japan, located in the warm temperate zone. On *Populus X euramericana* cv. I-214 and *Quercus serrata*, the budburst days were predicted using Cumulative Temperature(CT) and the number of Days Transformed to Standard temperature(DTS) models. In the case of *Populus X euramericana* cv. I-214, the RMSE values of real budburst days to predicted days were 3.08 in the CT model and 3.59 in the DTS model. These values of *Q. serrata* were 2.00 and 2.10, respectively.

はじめに

樹木フェノロジーに関わる研究については、これまで、様々な観点から研究が進められてきた(菊澤、1999; Schwartz、2003; 藤原・斎藤、2005 など)。しかし、その基本となるものは、肉眼によるフェノロジー観測である。上阿多古フィールドでは、このような肉眼による樹木の葉フェノロジー観測を 1993 年頃より進め、順次、その成果等の取りまとめを行ってきた(藤本・越智、1995; 藤本ら、1995; 藤本、1996、1998、2007、2008 など)。本報告もそのひとつで、静大上阿多古フィールドの苗畑および森林ビオトープ(造成地)での広葉樹(イチヨウを含む)の葉フェノロジーの調査結果を取りまとめ、開芽期予測法の検討などを行った。なお、本研究の一部は、平成 7~9 年度科研補助金(基盤研究 C(1)、高木類の生育更新・樹形特性から見た森林景観の基本構造の把握、課題番号 07660190、代表者・藤本)、平成 5~7 年度科研補助金(試験研究 A、森林地域における酸性雨等地球環境モニタリング体制の確立、課題番号 05506001、代表者・藤原 愷一郎)、平成 8~10 年度科研補助金(基盤研究 A(1)産地試験設定を伴うミズナラのフェノロジーの地理的変異に関する研究、課題番号 08556024、代表者・今田盛生)を受け展開したものである。

---

\* 静岡大学農学部附属地域フィールド科学教育研究センター 静岡市駿河区大谷 836

Center for Education and Research of Field Sciences, Faculty of Agriculture, Shizuoka University.

## 観測地・観測対象および方法

観測地は、静岡大学農学部附属地域フィールド科学教育研究センター上阿多古フィールドの苗畑および森林ビオトープ造成地（旧宿舍跡地）であり、北緯 34 度 55 分、東経 137 度 45 分、標高 120m の暖温帯に位置する。当箇所には気象観測施設はないが、標高差 310m の標高 430m 地点にある当フィールドの気象観測施設の年平均気温および年平均降水量は、過去 30 年間の平均で、それぞれ、14.4℃および 2300mm である。標高 100m で約 0.6℃気温が低下するので、観測地点の年平均気温はおおよそ 16.3℃と推定される。

観測対象樹種・個体数および期間については、苗畑では、1994～1998 年度にかけて観測し、ポプラ（3～5 個体、5 年間）、シナノキ（4 年間）、カツラ（1 年間）ハリギリ（3 年間）、イチヨウ（2 個体、2 年間）である。森林ビオトープでは、2002～8 年度にかけて観測し、ポプラ（3 個体、6～7 年間）、コナラ（3 個体、6～7 年間）、アカメガシワ（5～6 年間）、カラスザンショウ（5～6 年間）、ヌルデ（5～6 年間）、ネムノキ（3 年間）、シラカシ（1 年間）、オキナワウラジロガシ（2 個体、1 年間）、タラノキ（1～2 年間）である。個体数を明記しなかったものの観測個体はすべて 1 本である。なお、観測対象樹種のうち、ポプラは、全演協の共同研究（藤原、1996）で共通観測樹種となった、東大北海道演習林産のクロポプラ (*Populus X euramericana* cv. I-214) である。また、コナラの 1 と 3 は、同様に全演協の共同研究（今田、1999）で共通観測対象となった京大上賀茂試験地産種子からの実生、コナラの 2 は、同様に静大上阿多古フィールド産種子からの実生である。また、オキナワウラジロガシは宮崎大演習林産種子からの実生である。

開芽期については、藤本（2007）と同様の判定基準に従って、おおよそ 3～7 日間隔（動きの早いときは週 2 回）で、肉眼により開芽度合いを 5～10% 単位で記録したのち、樹種ごと個体ごとに、開芽初期到達日（葉は群状をなしているが、芽が完全に開き始めた枝条の割合が 20% 以上となった日）、開芽盛期到達日（葉の 80% 以上が開出した枝条の割合が 50% 以上となった日）、開芽晩期到達日（80% 以上の葉の葉身が完全に開いた状態になった枝条の割合が 80% 以上となった日）、開芽終期到達日（開芽晩期到達日以降で、冬芽を構成していた芽鱗が 80% 以上脱落した日）を算定した。紅葉・落葉フェノロジーについては、3～14 日ごと（動きの早いときは週 2 回を原則）に観測し、各観測日に、紅葉・落葉割合を 5～10% 単位で判定し、樹種ごとに、紅葉と落葉の初期到達日（紅葉・落葉率が 20% に到達した日）、盛期到達日（同 50% 到達日）、晩期到達日（同 80% 到達日）、終期到達日（95% 到達日）を算定した。また、樹種や観察個体によっては、葉が、黄紅葉後、脱落することなく枝条に枯葉として残存する場合もあったが、本研究では、このような樹上の枯葉を含めた枯・落葉の比率を枯・落葉率と呼ぶことにし、枯・落葉についても、初期～終期到達日を算定した。

比較的観測期間が長かったポプラとコナラについては、藤本（2007、2008）と同様の方法によって、その開芽期の予測法（積算有効温度法と温度変換日数法）の検討も試みた。その際、気象データが必要となるが、当該観測地では気象データは収集していないので、静大上阿多古フィールドの気象観測施設（標高 430m）で得られた気温データを用いることにし、標高差が 310m であるので、当該観測地の日平均気温を気象観測施設の日平均気温マイナス 0.6℃×3.1℃と見なして、

積算温量と温度変換日数（青野、1993）などを算定し、開芽フェノロジーとの関係を分析した。

### 結果および考察

開芽フェノロジーの観測結果を表1～3に取りまとめた。「欠」は欠測を示す(以下同様)。平均値(表3)で見ると、カツラ、カラスザンショウ、タラノキの順に早く、コナラ、ポプラ、ヌルデ、アカメガシワも早かった。

表1. 開芽フェノロジーのまとめ(苗畑)

| 樹種   | No  | 初期到達日 |      |      |      |      | 盛期到達日 |      |      |      |      |
|------|-----|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
|      |     | 1994  | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1994  | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 |
| ポプラ  | I   | 4/1   | 4/23 | 欠    | —    | —    | 4/5   | 5/1  | 欠    | —    | —    |
| ポプラ  | II  | 4/2   | 4/3  | 4/7  | 4/13 | 4/7  | 4/5   | 4/19 | 4/19 | 4/20 | 4/13 |
| ポプラ  | III | 3/31  | 4/6  | 4/8  | 4/13 | 欠    | 4/5   | 4/19 | 4/19 | 4/19 | 欠    |
| ポプラ  | IV  | 4/1   | 4/5  | 4/9  | 4/13 | 4/7  | 4/5   | 4/15 | 4/19 | 4/19 | 4/13 |
| ポプラ  | V   | 3/31  | 4/9  | 4/7  | 4/10 | 4/11 | 4/3   | 4/22 | 4/24 | 4/18 | 4/20 |
| シナノキ |     | 4/27  | —    | 5/1  | 4/30 | 4/24 | 4/30  | —    | 5/5  | 5/3  | 4/28 |
| カツラ  |     | 4/5   | —    | —    | —    | —    | 4/6   | —    | —    | —    | —    |
| ハリギリ |     | —     | —    | 4/25 | 4/20 | 4/16 | —     | —    | 4/28 | 4/24 | 4/21 |
| イチョウ | I   | —     | —    | —    | 4/12 | 4/11 | —     | —    | —    | 4/16 | 4/14 |
| イチョウ | II  | —     | —    | —    | 4/12 | 4/11 | —     | —    | —    | 4/16 | 4/14 |
| 樹種   | No  | 晩期到達日 |      |      |      |      | 終期到達日 |      |      |      |      |
|      |     | 1994  | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1994  | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 |
| ポプラ  | I   | 4/11  | 5/6  | 欠    | —    | —    | 4/17  | 5/13 | 欠    | —    | —    |
| ポプラ  | II  | 4/12  | 4/24 | 4/26 | 4/24 | 4/15 | 4/13  | 4/29 | 4/30 | 5/1  | 4/22 |
| ポプラ  | III | 4/11  | 4/24 | 4/26 | 4/22 | 欠    | 4/15  | 4/29 | 5/2  | 4/30 | 欠    |
| ポプラ  | IV  | 4/10  | 4/21 | 4/26 | 4/22 | 4/15 | 4/15  | 4/26 | 5/3  | 4/29 | 4/26 |
| ポプラ  | V   | 4/11  | 5/10 | 4/26 | 4/21 | 4/24 | 4/14  | 5/10 | 5/3  | 4/29 | 4/29 |
| シナノキ |     | 5/5   | —    | 5/7  | 5/6  | 5/1  | 5/10  | —    | 5/19 | 5/14 | 5/8  |
| カツラ  |     | 4/9   | —    | —    | —    | —    | 4/21  | —    | —    | —    | —    |
| ハリギリ |     | —     | —    | 4/30 | 4/25 | 4/22 | —     | —    | 5/3  | 5/1  | 4/25 |
| イチョウ | I   | —     | —    | —    | 4/21 | 4/15 | —     | —    | —    | 5/10 | 5/8  |
| イチョウ | II  | —     | —    | —    | 4/21 | 4/15 | —     | —    | —    | 5/10 | 5/8  |

表2. 開芽フェノロジーのまとめ(ビオトープ)

| 樹種       | No | 初期到達日 |      |      |      |      |      |      | 盛期到達日 |      |      |      |      |      |      |  |
|----------|----|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|--|
|          |    | 2002  | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2002  | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |  |
| ポプラ      | 1  | 4/2   | 4/8  | 4/10 | 4/14 | 4/12 | 4/7  | 4/6  | 4/9   | 4/14 | 4/15 | 4/17 | 4/19 | 4/13 | 4/14 |  |
| ポプラ      | 2  | 4/2   | 4/8  | 4/10 | 4/14 | 4/12 | 4/8  | 4/7  | 4/12  | 4/16 | 4/15 | 4/17 | 4/17 | 4/13 | 4/14 |  |
| ポプラ      | 3  | 4/2   | 4/10 | 4/9  | 4/14 | 4/12 | 4/9  | 4/7  | 4/9   | 4/17 | 4/15 | 4/22 | 4/17 | 4/13 | 4/14 |  |
| コナラ      | 1  | 4/6   | 4/10 | 4/9  | 4/10 | 4/10 | 4/3  | 4/5  | 4/9   | 4/14 | 4/14 | 4/17 | 4/14 | 4/12 | 4/11 |  |
| コナラ      | 2  | 4/5   | 4/3  | 4/12 | 4/9  | 4/9  | 4/2  | 4/5  | 4/9   | 4/14 | 4/15 | 4/17 | 4/15 | 4/9  | 4/7  |  |
| コナラ      | 3  | 4/4   | 4/13 | 4/9  | 4/14 | 4/13 | 4/8  | 4/8  | 4/9   | 4/17 | 4/15 | 4/22 | 4/17 | 4/14 | 4/15 |  |
| アカメガシワ   | 2  | —     | —    | 4/9  | 4/10 | 4/15 | 4/7  | 4/5  | —     | —    | 4/19 | 4/17 | 4/19 | 4/14 | 4/14 |  |
| カラスザンショウ | 3  | —     | —    | 4/5  | 4/6  | 4/6  | 4/1  | 4/6  | —     | —    | 4/11 | 4/12 | 4/14 | 4/11 | 4/13 |  |
| ヌルデ      | 1  | —     | —    | 4/7  | 4/11 | 4/9  | 4/3  | 4/8  | —     | —    | 4/15 | 4/17 | 4/17 | 4/14 | 4/14 |  |
| ネムノキ     | 1  | —     | —    | —    | —    | 4/30 | 4/21 | 4/19 | —     | —    | —    | —    | 5/14 | 5/3  | 5/7  |  |
| シラカシ     | 1  | —     | —    | —    | —    | 5/12 | 欠    | 欠    | —     | —    | —    | —    | 5/15 | 欠    | 欠    |  |
| クワナギ     | 1  | —     | —    | —    | —    | 5/1  | 欠    | 欠    | —     | —    | —    | —    | 5/3  | 欠    | 欠    |  |
| クワナギ     | 2  | —     | —    | —    | —    | 4/30 | 欠    | 欠    | —     | —    | —    | —    | 5/3  | 欠    | 欠    |  |
| タラノキ     | 1  | —     | —    | —    | —    | —    | —    | 4/6  | —     | —    | —    | —    | —    | —    | 4/12 |  |
| 樹種       | No | 晩期到達日 |      |      |      |      |      |      | 終期到達日 |      |      |      |      |      |      |  |
|          |    | 2002  | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2002  | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |  |
| ポプラ      | 1  | 4/12  | 4/16 | 4/20 | 4/20 | 4/21 | 4/20 | 4/18 | 4/16  | 4/20 | 4/23 | 4/26 | 4/25 | 1/0  | 4/25 |  |
| ポプラ      | 2  | 4/16  | 4/19 | 4/19 | 4/20 | 4/19 | 4/19 | 4/17 | 4/16  | 4/20 | 4/24 | 4/26 | 4/25 | 4/24 | 4/25 |  |
| ポプラ      | 3  | 4/12  | 4/20 | 4/19 | 4/26 | 4/20 | 4/19 | 4/17 | 4/16  | 4/20 | 4/24 | 4/26 | 4/24 | 4/24 | 4/25 |  |
| コナラ      | 1  | 4/13  | 4/19 | 4/18 | 4/20 | 4/20 | 4/19 | 4/15 | 4/16  | 4/20 | 4/21 | 4/26 | 4/24 | 4/25 | 4/21 |  |
| コナラ      | 2  | 4/12  | 4/16 | 4/20 | 4/24 | 4/19 | 4/20 | 4/15 | 4/16  | 4/20 | 4/24 | 4/27 | 4/23 | 4/23 | 4/22 |  |
| コナラ      | 3  | 4/12  | 4/20 | 4/20 | 4/27 | 4/25 | 4/25 | 4/22 | 4/21  | 欠    | 4/24 | 5/1  | 4/30 | 4/27 | 4/28 |  |
| アカメガシワ   | 2  | —     | —    | 4/20 | 4/25 | 4/25 | 4/25 | 4/19 | —     | —    | 4/23 | 4/26 | 欠    | 欠    | 欠    |  |
| カラスザンショウ | 3  | —     | —    | 4/15 | 4/19 | 4/23 | 4/18 | 4/20 | —     | —    | 4/20 | 4/26 | 欠    | 欠    | 欠    |  |
| ヌルデ      | 1  | —     | —    | 4/20 | 4/24 | 4/25 | 4/22 | 4/21 | —     | —    | 4/25 | 欠    | 欠    | 欠    | 欠    |  |
| ネムノキ     | 1  | —     | —    | —    | —    | 5/28 | 5/21 | 5/18 | —     | —    | —    | —    | 5/28 | 5/21 | 5/18 |  |
| シラカシ     | 1  | —     | —    | —    | —    | 5/16 | 欠    | 欠    | —     | —    | —    | —    | 5/20 | 欠    | 欠    |  |
| クワナギ     | 1  | —     | —    | —    | —    | 5/10 | 欠    | 欠    | —     | —    | —    | —    | 欠    | 欠    | 欠    |  |
| クワナギ     | 2  | —     | —    | —    | —    | 5/11 | 欠    | 欠    | —     | —    | —    | —    | 欠    | 欠    | 欠    |  |
| タラノキ     | 1  | —     | —    | —    | —    | —    | —    | 4/18 | —     | —    | —    | —    | —    | —    | 4/21 |  |

表3. 樹種別平均開芽到達日一覧(2観測地を通じた集計)注

| 樹種         | 初期   | 盛期   | 晩期   | 終期   |
|------------|------|------|------|------|
| カツラ        | 4/5  | 4/6  | 4/9  | 4/21 |
| カスガシ       | 4/5  | 4/12 | 4/19 | 4/23 |
| タラノキ       | 4/6  | 4/12 | 4/18 | 4/21 |
| コナラ        | 4/8  | 4/14 | 4/19 | 4/24 |
| ポプラ        | 4/8  | 4/15 | 4/20 | 4/21 |
| ヌルデ        | 4/8  | 4/15 | 4/22 | 4/25 |
| アカメガシワ     | 4/9  | 4/17 | 4/23 | 4/25 |
| イチョウ       | 4/12 | 4/15 | 4/18 | 5/9  |
| ハリギリ       | 4/20 | 4/24 | 4/26 | 4/30 |
| ネムノキ       | 4/23 | 5/8  | 5/22 | 5/22 |
| シナノキ       | 4/28 | 5/2  | 5/4  | 5/12 |
| オキナワウラジロガシ | 4/31 | 5/3  | 5/10 | 欠    |
| シラカシ       | 5/12 | 5/15 | 5/16 | 5/20 |

注：個体毎の観測年を通じた平均値を求めたのち、樹種ごとに集計。

ハリギリ、ネムノキ、シナノキは比較的遅く、開芽初期到達日が4月下旬となった。ネムノキは陽樹性が顕著な樹種の中では異例に開芽が遅い樹種と言える。常緑樹であるシラカシとオキナワウラジロガシは特に遅かった。ただし、オキナワウラジロガシはフェノロジーが安定せず、今後の観測・記録が必要と思われた。

紅葉期フェノロジーの結果を表4～5に示した。「伐」は、密度管理のためサンプル木を伐採したことを示す。平均値(表5)で見ると、ヌルデ、ポプラが早く、その他の樹種の紅葉の盛期到達日は12月になってからであった。

表4. 紅葉フェノロジーのまとめ(ビオトープ)

| 樹種     | No | 初期到達日 |      |       |       |       |       |       | 盛期到達日 |      |       |       |       |       |       |
|--------|----|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        |    | 2002  | 2003 | 2004  | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  | 2002  | 2003 | 2004  | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  |
| ポプラ    | 1  | 11/11 | 欠    | 11/5  | 10/30 | 11/23 | 10/30 | 11/9  | 11/16 | 欠    | 11/18 | 11/18 | 11/28 | 11/27 | 11/16 |
| ポプラ    | 2  | 11/14 | 欠    | 11/16 | 11/2  | 11/23 | 11/20 | 11/7  | 11/18 | 欠    | 11/19 | 11/23 | 11/25 | 11/29 | 11/15 |
| ポプラ    | 3  | 11/14 | 欠    | 11/16 | 11/22 | 11/26 | 11/24 | 11/11 | 11/20 | 欠    | 11/25 | 12/2  | 11/30 | 11/29 | 11/24 |
| コナラ    | 1  | 11/19 | 欠    | 11/25 | 11/24 | 11/23 | 11/27 | 11/27 | 11/23 | 欠    | 12/7  | 12/2  | 12/7  | 12/3  | 12/1  |
| コナラ    | 2  | 11/11 | 欠    | 11/25 | 11/22 | 11/19 | 11/25 | 伐     | 11/22 | 欠    | 12/8  | 11/30 | 12/1  | 11/28 | 伐     |
| コナラ    | 3  | 11/10 | 欠    | 11/26 | 11/26 | 11/29 | 12/1  | 11/30 | 11/21 | 欠    | 12/7  | 12/2  | 12/9  | 12/8  | 12/3  |
| アカメガシワ | 2  | 11/23 | 欠    | 12/21 | 11/27 | 11/21 | 11/29 | 11/18 | 12/3  | 欠    | 12/29 | 12/14 | 12/2  | 12/6  | 12/4  |
| カスガシ   | 3  | 12/2  | 欠    | 11/14 | 11/2  | 11/19 | 12/5  | 12/1  | 12/9  | 欠    | 11/26 | 12/2  | 12/16 | 12/15 | 12/17 |
| ヌルデ    | 1  | 11/7  | 欠    | 11/4  | 11/3  | 11/8  | 11/9  | 10/10 | 11/10 | 欠    | 11/26 | 11/9  | 11/13 | 11/18 | 10/25 |
| ネムノキ   | 1  | —     | —    | —     | —     | 11/26 | 12/5  | 11/29 | —     | —    | —     | —     | 12/9  | 12/13 | 12/1  |
| タラノキ   | 1  | —     | —    | —     | —     | —     | 12/11 | 11/29 | —     | —    | —     | —     | —     | 12/17 | 12/2  |
| 樹種     | No | 晩期到達日 |      |       |       |       |       |       | 終期到達日 |      |       |       |       |       |       |
| ポプラ    | 1  | 11/20 | 欠    | 11/21 | 11/22 | 12/2  | 11/29 | 11/25 | 11/24 | 欠    | 11/23 | 11/25 | 12/4  | 12/1  | 11/28 |
| ポプラ    | 2  | 11/22 | 欠    | 11/21 | 11/25 | 11/27 | 12/5  | 11/17 | 11/24 | 欠    | 11/23 | 11/26 | 11/28 | 12/7  | 11/18 |
| ポプラ    | 3  | 11/23 | 欠    | 11/27 | 12/4  | 12/10 | 12/5  | 11/27 | 11/24 | 欠    | 11/29 | 12/6  | 12/15 | 12/7  | 11/29 |
| コナラ    | 1  | 12/2  | 欠    | 12/14 | 12/6  | 12/13 | 12/8  | 12/5  | 12/8  | 欠    | 12/17 | 12/10 | 12/15 | 12/11 | 12/10 |
| コナラ    | 2  | 12/3  | 欠    | 12/13 | 12/5  | 12/8  | 12/5  | 伐     | 12/8  | 欠    | 12/16 | 12/10 | 12/13 | 12/10 | 伐     |
| コナラ    | 3  | 11/30 | 欠    | 12/13 | 12/6  | 12/13 | 12/10 | 12/6  | 12/7  | 欠    | 12/16 | 12/10 | 12/15 | 12/11 | 12/10 |
| アカメガシワ | 2  | 12/6  | 欠    | 1/2   | 12/17 | 12/5  | 12/13 | 12/6  | 12/8  | 欠    | 1/4   | 12/19 | 12/15 | 12/15 | 12/9  |
| カスガシ   | 3  | 12/8  | 欠    | 12/3  | 12/8  | 12/26 | 12/22 | 12/20 | 12/7  | 欠    | 12/6  | 12/10 | 12/29 | 12/23 | 12/22 |
| ヌルデ    | 1  | 11/13 | 欠    | 12/3  | 11/16 | 11/18 | 11/28 | 12/5  | 11/22 | 欠    | 12/6  | 11/29 | 11/21 | 12/1  | 12/10 |
| ネムノキ   | 1  | —     | —    | —     | —     | 12/13 | 12/15 | 12/2  | —     | —    | —     | —     | 12/15 | 12/18 | 12/3  |
| タラノキ   | 1  | —     | —    | —     | —     | —     | 12/19 | 12/5  | —     | —    | —     | —     | —     | 12/23 | 12/6  |

表5. 樹種別平均紅葉到達日一覧（2観測地を通した集計）<sup>注</sup>

| 樹種     | 初期    | 盛期    | 晩期    | 終期    |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| ヌルデ    | 11/2  | 11/12 | 11/24 | 11/30 |
| ポプラ    | 11/14 | 11/23 | 11/27 | 11/29 |
| カスガシヨウ | 11/22 | 12/9  | 12/15 | 12/16 |
| コナラ    | 11/23 | 12/2  | 12/8  | 12/12 |
| アカメガシワ | 11/28 | 12/10 | 12/13 | 12/17 |
| ネムノキ   | 11/30 | 12/8  | 12/10 | 12/12 |
| タラノキ   | 12/5  | 12/10 | 12/12 | 12/15 |

注：個体毎の観測年を通した平均値を求めたのち、樹種ごとに集計。

表6. 落葉フェノロジーのまとめ(ビオトープ)

| 樹種     | No | 初期到達日 |      |       |       |       |       |       | 盛期到達日 |      |       |       |       |       |       |
|--------|----|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        |    | 2002  | 2003 | 2004  | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  | 2002  | 2003 | 2004  | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  |
| ポプラ    | 1  | 11/15 | 欠    | 欠     | 欠     | 欠     | 11/11 | 10/10 | 11/19 | 欠    | 10/30 | 欠     | 10/15 | 11/18 | 10/21 |
| ポプラ    | 2  | 欠     | 欠    | 欠     | 欠     | 欠     | 11/16 | 10/10 | 11/15 | 欠    | 10/30 | 欠     | 10/15 | 11/19 | 10/25 |
| ポプラ    | 3  | 10/29 | 欠    | 欠     | 欠     | 欠     | 11/16 | 10/10 | 11/18 | 欠    | 10/30 | 欠     | 10/15 | 11/18 | 10/27 |
| コナラ    | 1  | 12/8  | 欠    | 12/19 | 12/15 | 12/13 | 12/17 | 12/18 | 翌年    | 欠    | 12/25 | 12/19 | 12/23 | 12/24 | 12/22 |
| コナラ    | 2  | 12/5  | 欠    | 12/21 | 12/15 | 12/13 | 12/16 | 伐     | 12/8  | 欠    | 12/25 | 12/27 | 12/23 | 12/24 | 伐     |
| コナラ    | 3  | 12/9  | 欠    | 12/22 | 12/15 | 12/11 | 12/19 | 12/19 | 12/8  | 欠    | 1/5   | 12/27 | 12/16 | 12/24 | 12/24 |
| アカメガシワ | 2  | 11/3  | 欠    | 12/18 | 12/6  | 12/1  | 12/2  | 12/3  | 12/1  | 欠    | 12/22 | 12/9  | 12/7  | 12/8  | 12/4  |
| カスガシヨウ | 3  | 11/2  | 欠    | 11/2  | 10/26 | 11/19 | 12/1  | 12/3  | 11/13 | 欠    | 11/16 | 11/2  | 11/30 | 12/12 | 12/11 |
| ヌルデ    | 1  | 11/2  | 欠    | 11/9  | 11/17 | 11/15 | 11/11 | 10/6  | 11/20 | 欠    | 11/13 | 11/21 | 11/24 | 11/28 | 10/16 |
| ネムノキ   | 1  | —     | —    | —     | —     | 11/13 | 11/25 | 11/14 | —     | —    | —     | —     | 11/30 | 11/28 | 11/19 |
| タラノキ   | 1  | —     | —    | —     | —     | —     | 12/8  | 11/16 | —     | —    | —     | —     | —     | 12/21 | 11/30 |
| 樹種     | No | 晩期到達日 |      |       |       |       |       |       | 終期到達日 |      |       |       |       |       |       |
| ポプラ    | 1  | 11/23 | 欠    | 11/6  | 欠     | 10/24 | 11/28 | 11/9  | 11/24 | 欠    | 11/9  | 10/28 | 11/8  | 12/5  | 11/21 |
| ポプラ    | 2  | 11/22 | 欠    | 11/7  | 10/28 | 10/25 | 11/28 | 11/9  | 11/24 | 欠    | 11/13 | 11/6  | 11/22 | 12/1  | 11/16 |
| ポプラ    | 3  | 11/22 | 欠    | 11/6  | 10/28 | 10/31 | 11/24 | 11/9  | 11/25 | 欠    | 11/9  | 11/22 | 11/28 | 12/1  | 11/29 |
| コナラ    | 1  | 翌年    | 欠    | 1/1   | 1/3   | 12/27 | 翌年    | 1/16  | 翌年    | 欠    | 1/5   | 2/1   | 12/30 | 翌年    | 翌年    |
| コナラ    | 2  | 12/27 | 欠    | 1/12  | 2/28  | 12/30 | 翌年    | 伐     | 翌年    | 欠    | 翌年    | 3/21  | 翌年    | 翌年    | 伐     |
| コナラ    | 3  | 12/27 | 欠    | 翌年    | 2/25  | 12/30 | 翌年    | 翌年    | 翌年    | 欠    | 翌年    | 3/21  | 翌年    | 翌年    | 翌年    |
| アカメガシワ | 2  | 12/6  | 欠    | 12/26 | 12/12 | 12/11 | 12/10 | 12/6  | 12/8  | 欠    | 1/2   | 12/17 | 12/15 | 12/13 | 12/9  |
| カスガシヨウ | 3  | 11/30 | 欠    | 11/27 | 11/9  | 12/5  | 12/22 | 12/19 | 12/8  | 欠    | 12/4  | 11/30 | 12/14 | 翌年    | 12/21 |
| ヌルデ    | 1  | 11/27 | 欠    | 11/16 | 11/28 | 11/28 | 12/5  | 10/23 | 11/30 | 欠    | 12/3  | 12/2  | 12/1  | 12/8  | 11/1  |
| ネムノキ   | 1  | —     | —    | —     | —     | 12/4  | 12/1  | 11/22 | —     | —    | —     | —     | 12/7  | 12/8  | 12/1  |
| タラノキ   | 1  | —     | —    | —     | —     | —     | 翌年    | 12/6  | —     | —    | —     | —     | —     | 翌年    | 12/14 |

表7. 樹種別平均落葉到達日一覧（2観測地を通した集計）<sup>注</sup>

| 樹種     | 初期    | 盛期    | 晩期    | 終期    |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| ポプラ    | 10/30 | 11/2  | 11/11 | 11/20 |
| ヌルデ    | 11/5  | 11/15 | 11/21 | 11/28 |
| カスガシヨウ | 11/14 | 11/24 | 12/4  | 12/9  |
| ネムノキ   | 11/17 | 11/26 | 11/29 | 12/5  |
| タラノキ   | 11/27 | 12/11 | 12/6  | 12/14 |
| アカメガシワ | 12/1  | 12/9  | 12/12 | 12/16 |
| コナラ    | 12/15 | 12/22 | 1/11  | 2/26  |

注：個体毎の観測年を通した平均値を求めたのち、樹種ごとに集計。

落葉期のフェノロジーのまとめを表6～7に示した。ポプラの落葉は早く、その初期到達日の平均は10月30日、盛期でも11月2日であった。次いで、ヌルデが早かった。最も遅かったのはコナラで、例外的に遅く、平均値で見ると、12月15日になって始めて落葉初期に到達した（表7）。落葉晩期到達日と終期到達日は、平均値で、それぞれ、1月11日、2月26日と算定され

た。これは、葉が枯れても、脱落することなく長期間樹上に残存するため、落葉性のコナラ属樹種では、弱齢時などによく認められる事象といえる。葉がすべて脱落するのは開芽の直前になるようである。ヌルデ、カラスザンショウ、タラノキ、アカメガシワでも、このような樹上に枯葉が残存する現象が認められたが、翌年まで落葉期が持ち越されたのは、2007年のカラスザンショウの一例だけであった（表8）。

以上のような枯葉も含めた枯・落葉期の算定結果を表8～9に示した。殆どの樹種では、樹上に残存する枯葉が認められたとしても少量であったため、結果は、落葉期の結果と一致していたが、コナラでは、晩期到達日と終期到達日が大幅に異なっていた。しかし、この基準で比べても、コナラの落葉は極めて遅いといえ、終期到達は12月の下旬であった。

表8. 枯・落葉フェノロジーのまとめ(ビオトープ)

| 樹種       | No | 初期到達日 |      |       |       |       |       |       | 盛期到達日 |      |       |       |       |       |       |
|----------|----|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
|          |    | 2002  | 2003 | 2004  | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  | 2002  | 2003 | 2004  | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  |
| ポプラ      | 1  | 11/15 | 欠    | 欠     | 欠     | 欠     | 11/11 | 10/10 | 11/19 | 欠    | 10/30 | 欠     | 10/15 | 11/18 | 10/21 |
| ポプラ      | 2  | 欠     | 欠    | 欠     | 欠     | 欠     | 11/16 | 10/10 | 11/15 | 欠    | 10/30 | 欠     | 10/15 | 11/19 | 10/25 |
| ポプラ      | 3  | 10/29 | 欠    | 欠     | 欠     | 欠     | 11/16 | 10/10 | 11/18 | 欠    | 10/30 | 欠     | 10/15 | 11/18 | 10/27 |
| コナラ      | 1  | 12/8  | 欠    | 12/19 | 12/14 | 12/10 | 12/17 | 12/18 | 12/14 | 欠    | 12/25 | 12/16 | 12/13 | 12/21 | 12/29 |
| コナラ      | 2  | 12/5  | 欠    | 12/21 | 12/14 | 12/10 | 12/16 | 伐     | 12/8  | 欠    | 12/25 | 12/16 | 12/13 | 12/20 | 伐     |
| コナラ      | 3  | 12/9  | 欠    | 12/22 | 12/14 | 12/11 | 12/19 | 12/18 | 12/8  | 欠    | 12/29 | 12/16 | 12/14 | 12/21 | 12/19 |
| アカメガシワ   | 2  | 11/3  | 欠    | 12/18 | 12/6  | 12/1  | 12/2  | 12/3  | 12/1  | 欠    | 12/21 | 12/9  | 12/7  | 12/8  | 12/5  |
| カラスザンショウ | 3  | 11/2  | 欠    | 11/2  | 10/26 | 11/19 | 12/1  | 12/3  | 11/13 | 欠    | 11/16 | 11/2  | 11/30 | 12/12 | 12/11 |
| ヌルデ      | 1  | 11/2  | 欠    | 11/9  | 11/17 | 11/15 | 11/11 | 10/6  | 11/20 | 欠    | 11/13 | 11/21 | 11/24 | 11/28 | 10/16 |
| ネムノキ     | 1  | —     | —    | —     | —     | 11/13 | 11/25 | 11/14 | —     | —    | —     | —     | 11/30 | 11/28 | 11/19 |
| タラノキ     | 1  | —     | —    | —     | —     | —     | 12/8  | 11/16 | —     | —    | —     | —     | —     | 12/16 | 11/30 |
| 樹種       | No | 晩期到達日 |      |       |       |       |       |       | 終期到達日 |      |       |       |       |       |       |
|          |    | 2002  | 2003 | 2004  | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  | 2002  | 2003 | 2004  | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  |
| ポプラ      | 1  | 11/23 | 欠    | 11/6  | 欠     | 10/24 | 11/28 | 11/9  | 11/24 | 欠    | 11/9  | 10/28 | 11/8  | 12/5  | 11/21 |
| ポプラ      | 2  | 11/22 | 欠    | 11/7  | 10/28 | 10/25 | 11/28 | 11/9  | 11/24 | 欠    | 11/13 | 11/6  | 11/22 | 12/1  | 11/16 |
| ポプラ      | 3  | 11/22 | 欠    | 11/6  | 10/28 | 10/31 | 11/24 | 11/9  | 11/25 | 欠    | 11/9  | 11/22 | 11/28 | 12/1  | 11/29 |
| コナラ      | 1  | 12/22 | 欠    | 1/1   | 12/18 | 12/15 | 12/23 | 12/21 | 12/26 | 欠    | 1/4   | 12/19 | 12/19 | 12/24 | 12/22 |
| コナラ      | 2  | 12/11 | 欠    | 1/1   | 12/18 | 12/15 | 12/22 | 伐     | 12/23 | 欠    | 1/4   | 12/19 | 12/17 | 12/24 | 伐     |
| コナラ      | 3  | 12/11 | 欠    | 1/2   | 12/18 | 12/17 | 12/23 | 12/21 | 12/23 | 欠    | 1/4   | 12/19 | 12/20 | 12/24 | 12/22 |
| アカメガシワ   | 2  | 12/6  | 欠    | 12/25 | 12/12 | 12/11 | 12/10 | 12/6  | 12/8  | 欠    | 12/30 | 12/17 | 12/15 | 12/13 | 12/9  |
| カラスザンショウ | 3  | 11/30 | 欠    | 11/27 | 11/9  | 12/5  | 12/22 | 12/18 | 12/8  | 欠    | 12/4  | 11/30 | 12/14 | 翌年    | 12/21 |
| ヌルデ      | 1  | 11/27 | 欠    | 11/16 | 11/28 | 11/28 | 12/5  | 10/23 | 11/30 | 欠    | 12/3  | 12/2  | 11/30 | 12/7  | 11/1  |
| ネムノキ     | 1  | —     | —    | —     | —     | 12/4  | 12/1  | 11/22 | —     | —    | —     | —     | 12/7  | 12/8  | 12/1  |
| タラノキ     | 1  | —     | —    | —     | —     | —     | 12/18 | 12/6  | —     | —    | —     | —     | —     | 12/22 | 12/9  |

表9. 樹種別平均枯・落葉到達日一覧（2観測地を通じた集計）注

| 樹種       | 初期    | 盛期    | 晩期    | 終期    |
|----------|-------|-------|-------|-------|
| ポプラ      | 10/30 | 11/2  | 11/11 | 11/20 |
| ヌルデ      | 11/5  | 11/15 | 11/21 | 11/27 |
| カラスザンショウ | 11/14 | 11/24 | 12/4  | 12/9  |
| ネムノキ     | 11/17 | 11/26 | 11/29 | 12/5  |
| タラノキ     | 11/27 | 12/8  | 12/12 | 12/16 |
| アカメガシワ   | 12/1  | 12/9  | 12/12 | 12/15 |
| コナラ      | 12/14 | 12/18 | 12/21 | 12/24 |

注：個体毎の観測年を通じた平均値を求めたのち、樹種ごとに集計。

図1に樹種ごとの紅葉盛期到達日と落葉盛期到達日の関係を示した。ポプラ、カラスザンショウ、ネムノキでは、紅葉期より落葉期の方が早かった。また、アカメガシワ、タラノキ、ヌルデでは、紅葉と落葉がほぼ同時進行していた。それに対して、コナラの場合は、紅葉期と落葉期に

1ヶ月近くの差が認められたことがわかる。

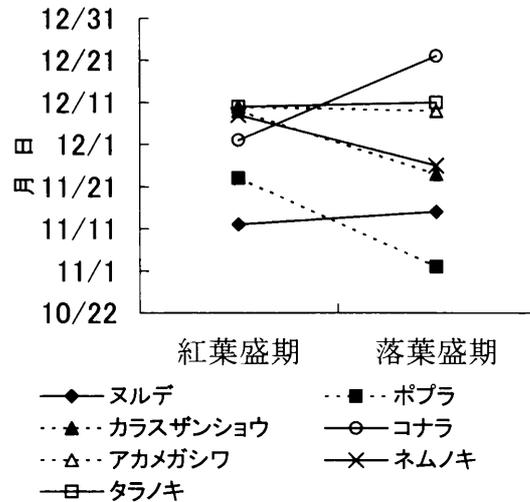


図1. 紅葉盛期到達日と落葉盛期到達日の関係

図2～3に、開芽日予測法の解析結果を示した。ここでは、開芽初期到達日を予測の対象とした。ポプラの積算有効温量法の場合、 $-5 \sim -2^{\circ}\text{C}$ あたりで **RMSE** が小さくなり、起算日が1月1日、限界温度が $-4^{\circ}\text{C}$ で **RMSE** (平均二乗誤差の平方根) が最小となり、最小 **RMSE** 値は3.08日であった。温度変換日数法の場合は、起算日が3月15日、 $E_a$  (見かけの活性化エネルギー、 $\text{cal} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) が2で **RMSE** が最小となるという結果になり、最小 **RMSE** は3.59であった。コナラの積算有効温量法の場合、 $-15 \sim -9^{\circ}\text{C}$ あたりで **RMSE** が小さくなり、起算日が1月1日、限界温度が $-14^{\circ}\text{C}$ と $-15^{\circ}\text{C}$ で **RMSE** (平均二乗誤差の平方根) が最小となり、最小 **RMSE** 値は2.00日であった。温度変換日数法の場合は、起算日が1月1日、 $E_a$  (見かけの活性化エネルギー、 $\text{cal} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) が8で **RMSE** が最小となり、最小 **RMSE** 値は2.10であった。

以上のように、最小 **RMSE** は、ポプラの温度変換日数法の場合は3.59とかなり大きかったが、その他の3.08、2.00、2.10は、前報(藤本、2007)による落葉広葉樹15種の最小 **RMSE** の平均値が、有効積算温量法の場合が2.61、温度変換日数法の場合が2.62であったことなども考え合わせて判断すると、許容範囲内の値であったといえる。しかし、ポプラの積算有効温量法と温度変換日数法で最適起算日が大きく異なり、また、コナラの最適起算日が最寒日(2月1日前後)よりかなり早い1月1日であったことには問題があり、今後の十分な検討が必要となると考えられる。開芽日の予測モデルとしては、今回取り上げた有効積算温量法(Lindsey, 1963など)や温度変換日数法(青野、1993)以外に、冬季の低温要求を組み込んだ並列モデル(parallel model; Hänninen, 1990)、統合モデル(Unified model; Chuine, 2000)など、様々なモデルが考案・利用されており、これらのモデルでは、単位積算温量の指数関数的増加を仮定しているため低温域での積算量が過大評価されない利点を持つ。また、これらのモデルは、低温要求を組み込んでいることでも優れたモデルといえる。最適起算日の値が大きく変動したり、最寒日よりかなり早くなってしまうのは、開芽予測に低温要求量が組み込まれていないためである可能性が考えられる。従って、今後は、以上のような低温要求量を組み込んだ

モデルによる検討が是非必要となると考えられる。

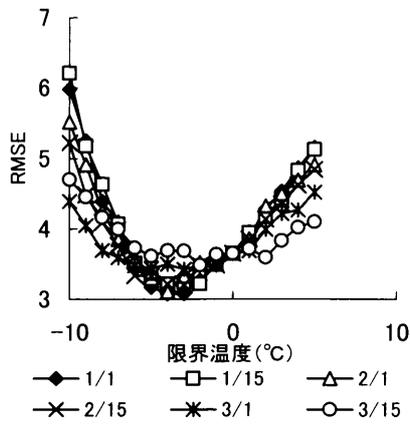


図2A. ポプラの限界温度とRMSEの関係(積算有効温度法の場合)

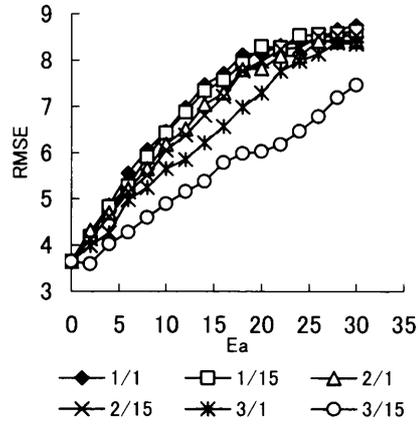


図2B. ポプラの限界温度とRMSEの関係(温度変換日数法の場合)

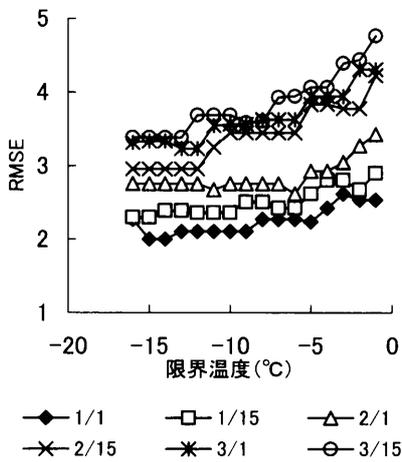


図3A. コナラの限界温度とRMSEの関係(積算有効温度法の場合)

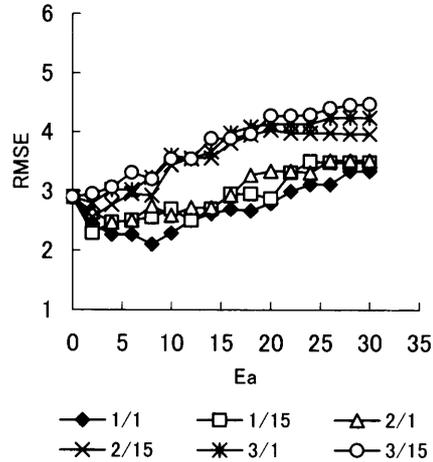


図3B. コナラの限界温度とRMSEの関係(温度変換日数法の場合)

## 引用文献

- 青野靖之 (1993) : 温度変換日数法によるソメイヨシノの開花に関する気象学的研究. 大阪府大紀要 (農学・生命科学) 45、155-192.
- Chuine, I.(2000) : A unified model for the budburst of trees. J. Theor. Biol. 207、337-347.
- 藤本征司 (1996) : 広葉樹のフェノロジー—静岡大学上阿多古演習林での調査結果より— (平成5～7年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書・森林地域における酸性雨等地球環境モニタリング体制の確立, 藤原愷一郎編), 69-77.
- 藤本征司 (1998) : 高木類の生育更新・樹形特性から見た森林景観の基本構造の把握 (平成7～9年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書).
- 藤本征司(2007) : 広葉樹29種の10年間の開芽フェノロジー観測に基づく開芽日予測法の検討. 日本森林学会誌、89(4)、253-261.
- 藤本征司 (2008) : 気温変動が暖温帯域の樹木の葉フェノロジーに与える影響の予測. 保全生態

学研究、13、75-87.

藤本征司・越智新（1995）：一斉開葉型の枝条形成パターンについて．43回日本林学会中部支部  
論文集、95-96.

藤本征司・越智新・宮崎仁志・若木哲（1995）：高木類のフェノロジーと枝条形成パターン—主に  
開芽、開葉、成長終了期について—．日本林学会大会論文集 106、371-374.

藤原章雄・斎藤馨（2005）：ロボットカメラによる定点長期連日映像データの樹木フェノロジー  
観察への応用．ランドスケープ研究、68、927-930.

藤原愷一郎（1996）：森林地域における酸性雨等地球環境モニタリング体制の確立．平成5～7年  
度文部省科学研究費補助金研究成果報告書、226pp+273pp.

Hänninen, H.(1990) : Modelling bud dormancy release in trees from cool and temperate  
regions. *Acta Forest Fenn.* 213、1-47.

今田盛生（1999）：産地試験設定を伴うミズナラのフェノロジーの地理的変異に関する研究．平  
成8～10年度科研補助金研究成果報告書、153pp.

菊澤喜八郎（1999）：地球変化と樹木フェノロジー．（環境変動と生物集団．河野昭一・井村治編，  
海游舎，東京）．36-52.

Lindsey, A.A.(1963) : Accuracy of duration temperature summing and its use for *Prunus  
serrelata*. *Ecology*, 44、149-151.

Schwartz, M.D.(2003) : *Phenology: An integrative environmental science*. 564pp, Kluwer  
Academic Publishers, Dordrecht, Boston and London.