

# 樹種の違いが遮断蒸発量に与える影響

水文気象研究室 児玉佑一郎  
指導教員 陸旻皎

## 1. はじめに

森林に降る雨のすべては直接、森林土壌に届くのではなく、その過程の樹冠や幹、地面に堆積した葉や枝によって幾分か遮られ、貯留し、蒸発してしまう。このことを降雨遮断と呼び、幹や樹冠で遮断された量を遮断蒸発量と呼ぶ。遮断蒸発量の推定には観測による水収支的方法と気象データとモデルを用いて推定する微気象学的方法に別けられる。降雨遮断は降雨のパターンや樹種によって異なるが日本の樹冠の降雨の遮断率は約 20%前後であり、樹木による降雨の遮断は水収支に与える影響は大きい。また、近年、全国森林計画には森林の重視すべき機能に応じた望ましい森林の姿に誘導するため広葉樹林化、針広混交林化等に関する記述が追加で盛込まれた。これらのことから本研究では、降雨遮断モデルを用いて、常緑針葉樹林と落葉広葉樹林からの遮断蒸発量の推定を行い、常緑針葉樹林が落葉広葉樹林に変化した際の遮断蒸発量の変化の把握を目的とする。

## 2. 落葉針葉樹と常緑針葉樹の違い

落葉広葉樹と常緑針葉樹は葉の違いが特徴的である。針葉樹は小形の葉、広葉樹は大きな葉であり、年間の葉の量は針葉樹のほうが多く、広葉樹は季節的変動を持っている。単位面積当たりの葉面積である葉面積指数 (Leaf Area Index :LAI) は葉の量が多ければ大きく、上記のことから年間の LAI は常緑針葉樹のほうが大きいと考えられる。また、朴ら<sup>1)</sup>は観測から遮断蒸発量の違いは LAI によるものであることを示した。このことから、落葉広葉樹林と常緑針葉樹林の遮断蒸発量は葉の形状や LAI に依存すると考えられる。そのため、本研究で使用するモデルは LAI と樹種を考慮したモデルを用いる。

## 3. 降雨遮断モデル概要

本研究では近藤モデル<sup>2)</sup>を用いる。近藤モデルは樹冠が十分に濡れた場合と濡れていない場合に別けて日単位の遮断蒸発量の計算を行う。

### 樹冠が十分に濡れた場合

$$I = I_{pot} \times (\tau/24) + S \quad (1)$$

### 樹冠が十分に濡れていない場合

$$I = \Omega^* \times P_r \quad (2)$$

ここで、S は樹冠貯留量[mm]であり、樹冠が保水する量で、降水後の数時間から 1 日以内に蒸発してしまう量のことである。I は遮断蒸発量[mm]、 $I_{pot}$  はポテンシャル蒸発量[mm/day]、 $\tau$  は降雨継続時間[hr]、 $P_r$  が降雨量[mm/day]、 $\Omega^*$  は降水粒子が樹体にぶつかる確率である。また、S は以下の式が与えられる。

$$S = S_{max} [1 - \exp(-P_r/S_{max})] \quad (3)$$

$$S_{max} = K \cdot LAI \quad (4)$$

$S_{max}$  は最大保水容量であり、LAI は葉面積指数 [ $m^2/m^2$ ]、K はパラメータであり、樹種によって異なる(表 3-1)。また、 $\tau$  と  $\Omega^*$  は以下のようになっている。

$$\tau = \tau_{max} [1 - \exp(-P_r \cdot u)]$$

$$\tau_{max} = 18[\text{hr}] \quad (5)$$

$$u = 1/2[\text{mm}^{-1}]$$

表 3-1 葉の保水容量

樹種	Mm/LAI
マツ	0.15
スギ	0.15
ヒノキ	0.18
コナラ	0.09

引用：文献<sup>3)</sup>

$$\Omega^* = \Omega [1 - \exp(-f \cdot LAI / \Omega)] \quad (6)$$

$\Omega$  は樹冠の開鎖率(密林では 1、間伐林では 1 以下)、 $f$  は葉の傾きを表す要素である。樹冠が十分に濡れた場合とそうでない場合を判断する降雨の強弱の判定は以下のように行う

降雨が強い場合 → (1)式へ

$$\Omega^* \times P_r \geq I_{pot} \times (\tau/24) + S_{max} \quad (7)$$

降雨が弱い場合 → (2)式へ

$$\Omega^* \times P_r < I_{pot} \times (\tau/24) + S_{max} \quad (8)$$

$I_{pot}$  は Priestley-Taylor 法<sup>4)</sup> で求める。

$$I_{pot} = \alpha \cdot \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \times \frac{R_n}{L_e} \quad (9)$$

$E_p$  はポテンシャル蒸発量[mm]、 $\Delta$  は飽和水蒸気圧の勾配[hPa/K]、 $\gamma$  は乾湿計定数[hPa/K]、 $R_n$  は正味放射量[MJ/m<sup>2</sup>]、 $L_e$  は気化の潜熱[MJ/Kg]、 $\alpha$  は定数 (=1.26) である。

遮断蒸発量の観測データは気象観測や流量観測と同様の規模での観測はされておらず、一部の研究機関が観測している程度である。そのため、遮断蒸発量と LAI の文献値<sup>1)5)6)7)8)</sup>を用いて降雨遮断モデルの評価を行った。気象データは文献の観測地点(図 3-1)に近い AMeDAS と気

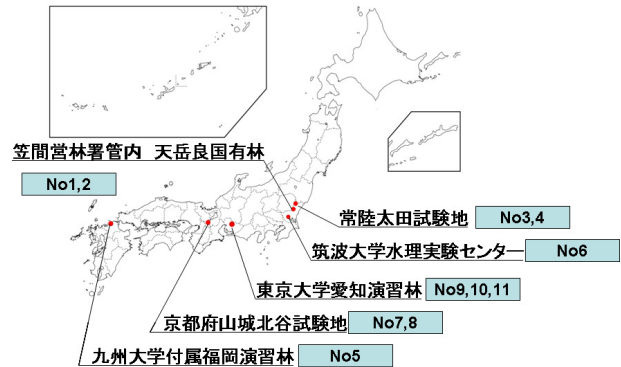


図 3-1 文献の観測地点

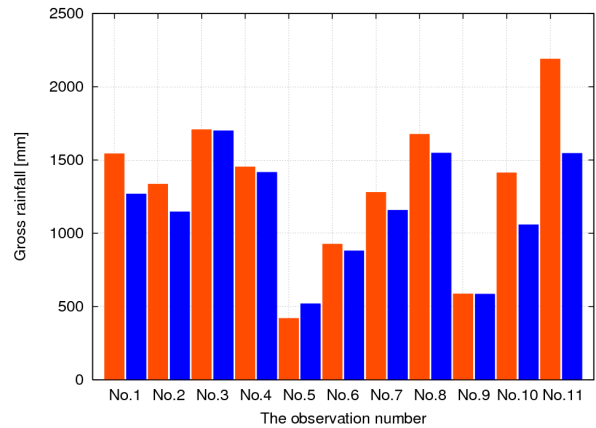


図 3-2 文献値と計算値の総降水量  
橙：文献値 青：計算値

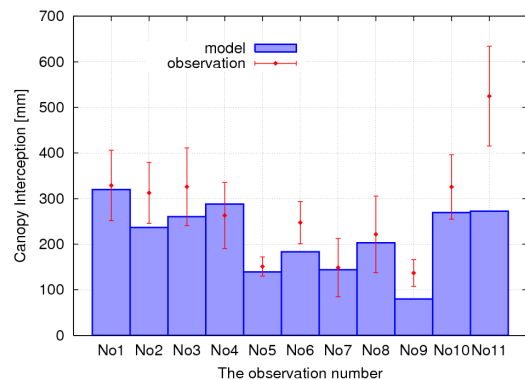


図 3-3 モデル評価の結果：棒グラフが計算値、点棒が文献値、赤い棒が誤差量

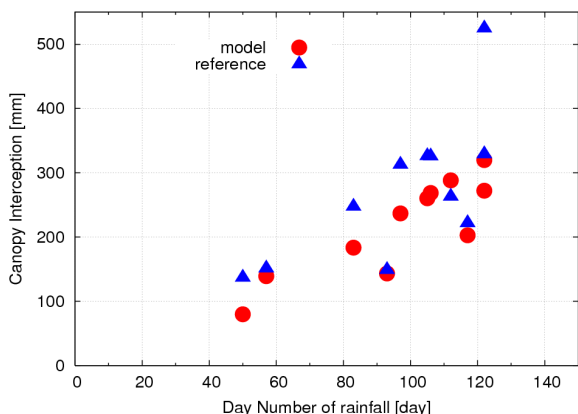


図 3-4 降雨日数と遮断蒸発量の関係

象台のデータを使用し、LAI は樹齢、樹高等を考慮せずに文献値を参考に月毎の値を設定した。年間の変動に関しては三角関数<sup>9)</sup>を基本とし、落葉樹に関しては落葉期に急激に葉が急激に落葉するため、文献<sup>10)</sup>の値を参考に、8月をピークに割的に減少させた。樹冠の閉鎖率は $\Omega = 1$ 、葉の傾きを表す要素は文献<sup>3)</sup>と同様にランダム分布を仮定して $f = 0.5$ とした。また、文献の観測期間中の総降雨量と気象データで文献と同じ期間の総雨量の比較を図 3-2 に示す。

計算結果と文献値を図 3-3 に、降雨日数と遮断蒸発量の関係を図 3-4 に示す。また、文献の観測誤差は 5% と設定した。No1、No5、No7 は文献値との差が 4.8~1.2 と小さく No.3, No4, No8, No10 は文献値の測定誤差の範囲内であることから、これら 7 つの結果は文献値に近い値を示していると考えられる。しかし、結果全体を見てみると、計算値が過小評価の傾向にあることが見て取れる。No11 は誤差 252.3mm ととても大きく、文献値よりも遥かに低い値となった。これらは、標高による入力雨量の違い<sup>11)</sup>と日本のように短期間に強い雨が頻りに起こるような地域では、過小評価の傾向がある<sup>12)</sup>ことが原因ではないかと考えられる。そのため、遮断蒸発量の推定を行う際は、雨量が少ない地域で、且つ、入力雨量は流域平均雨量を用いる。また、降雨日数の増加に伴い、遮断蒸発量も増加していることが見て取れる。

#### 4. 遮断蒸発量推定

モデル評価の結果から対象とする地域を気象庁の降水量平年値分布図を参考に選んだ。対象地域は土器川流域(約 90 km<sup>2</sup>)、猪名川流域(約 59 km<sup>2</sup>)、また、あえて雨量が多く、流域面積の大きい安倍川流域(約 288km<sup>2</sup>)も行った。気象データは国土交通省の AMeDAS と国土交通省の水文水質データベースを使用。流域内で遮断蒸発量を求める際には流域内の代表木を設定する必要がある。そのため、環境省自然環境局生物多様性センター第 5 回植生調査 GIS データを用いて植生分布図を作成し、常緑針葉樹を落葉広葉樹に別け、それぞれに多く植生している群落群集の樹木を代表木とした。その結果、土器川と猪名川はアカマツとコナラ、安倍川はスギ植林とコナラとした。LAI は文献値<sup>8)10)13)</sup>を参考に設定した。モデル評価と同様に森林は密林、葉の傾きは 0.5 と仮定した。

#### 5. 結果と考察

計算結果を図 5-1 に示す。土器川、猪名川、安倍川の 3 年間の遮断蒸発量の平均値は落葉広葉樹林が 224.1mm、199.4mm、360.1mm、常緑針葉樹林が 320.7mm、282.1mm、406.3mm であった。土器川では総降雨量が増加しているのにも関わらず、遮断蒸発量は減少している。この原因は、降雨日数にあると考えられる。モデルの評価のときにも示したが、降雨日数の増加に伴い、遮断蒸発量も増加する関係が見て取れる。土器川では 1996 年の降雨日数が 206 日で他の年は約 185 程度であった。また、降雨量は 1996 年が他の年より低いことから、この年は弱い雨が頻りに発生したため遮断蒸発量が他の年より大きかったと考えられる。猪名川では降雨量の増加に伴い遮断蒸発量も増加している。安倍川は総降雨量が 2000mm 以上であり、2004 年に関しては 3000mm を越える。2004 年は台風や秋雨前線により水害の多い年であった。

降雨日数と遮断蒸発量の関係を図 5-2 に示す。安倍川は降雨日数と遮断蒸発量との間に土器川、猪名川のような関係を見つけることが出来

なかった。これは、台風により短時間の間に多くの降雨を受けたことが原因であると考えられる。そのため、静岡県過去の水害データ<sup>14)</sup>を参考に風と秋雨前線による降雨を除いて遮断蒸発量の計算を行い、遮断蒸発量と降雨日数の関係を図 5-3 に示したところ猪名川や土器川と似たような傾向を示した。

推定された遮断蒸発量は猪名川と土器川に関しては年間の雨量が少ないため、実際の遮断蒸発量に近い値となっていると考えられるが、安倍川に関してはモデル評価の No. 11 の結果と同じように実際の値とは大きく異なると考えられる。遮断蒸発量は常緑針葉樹林のほうが大きく、その差は土器川が平均で約 97mm であり、猪名川流域は 83mm、安倍川は 46mm であった。土器川と猪名川の常緑針葉樹林と落葉広葉樹林の差は、落葉広葉樹林の遮断蒸発量の約 40% にあたる。安倍川では 10% であった。

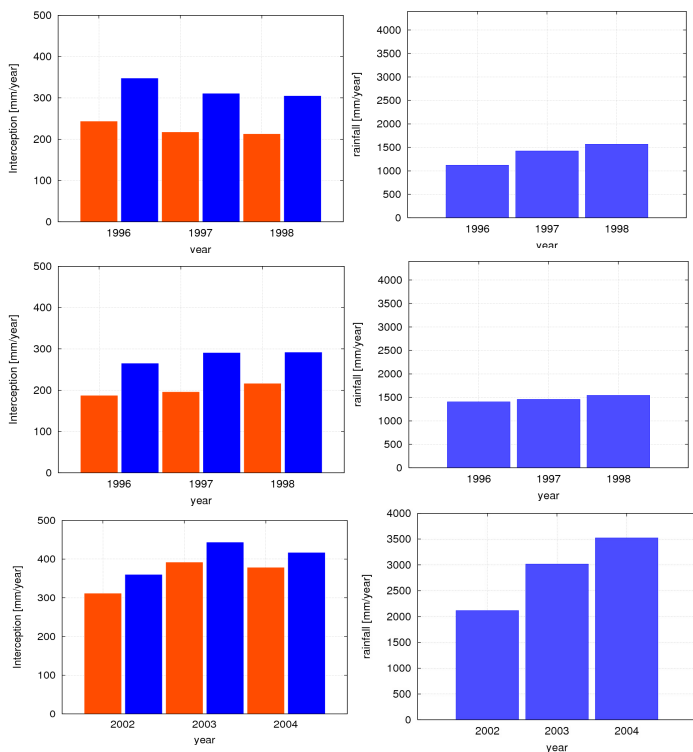


図 5-1 常緑針葉樹(青)と落葉広葉樹(橙)の推定遮断蒸発量(左)と流域平均降雨量(右)：上から土器川、猪名川、安倍川

また、今回の計算結果を流域の単位面積当たりの遮断蒸発量と仮定し、流域内の植生を変化させた際の遮断蒸発量の変化を考えてみる。植生の変化は、常緑針葉樹の面積を減らし、その分、落葉広葉樹の面積を減らした。その際の森林全体から遮断蒸発量を図 5-4 に、変化前を基準とした森林全体の遮断蒸発量の減少率を図 5-5 に示す。図 5-4 では、森林総遮断蒸発量は常緑針葉樹林の減少、落葉広葉樹林の増加に伴い減少していくことが見て取れる。また、減少率は土器川、猪名川では、ほぼ同じ割合で減少しているのに対して安倍川はそれとは異なり、減少率が低い結果となった。これは落葉広葉樹林と常緑針葉樹林の遮断蒸発量の差から来ているものであると考えられる。

仮に、森林計画により、猪名川流域と土器川流域の常緑針葉樹の 25% が減少し、その分、落

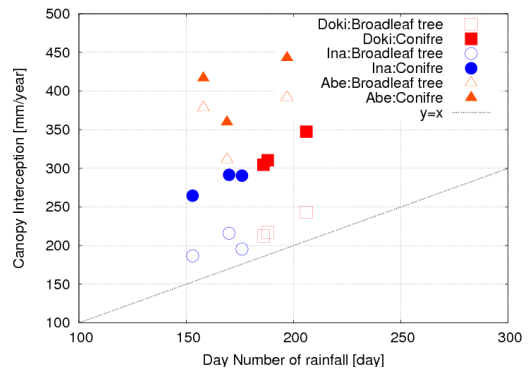


図 5-2 遮断蒸発量と降雨日数の関係

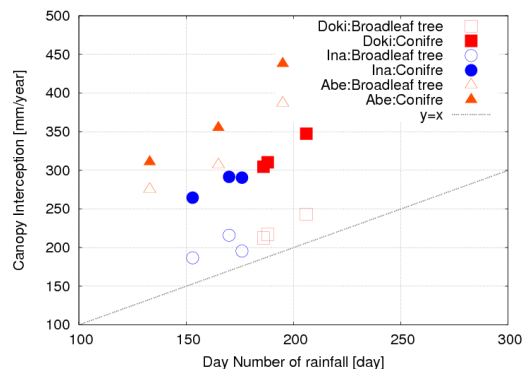


図 5-3 遮断蒸発量と降雨日数の関係 (安倍川の台風・秋雨前線の降雨を抜いた場合)

葉広葉樹が植生したとした場合の遮断蒸発量の変化を考えてみる。この場合の森林の単位面積当たりの年間の遮断蒸発量は猪名川流域では 241.1mm、土器川流域は 274.8mm となった。変化前と比べて遮断蒸発量は猪名川流域では 13.9mm、土器川では 16.9mm 減少した。また、これらの遮断蒸発量の変化量分を、土壤への浸透や蒸発による影響が無く総てが流出したと仮定して流量に変換すると、土器川流域では 0.06m<sup>3</sup>/s、猪名川流域では 0.02m<sup>3</sup>/s 増加すると考えられる。土器川流域の出口にある常包橋地点の流量と、猪名川流域の出口にある南田原地点の流量は 20 年平均 (表 5-1) で、常包橋地点では年平均流量が 1.97 m<sup>3</sup>/s、南田原地点 1.64m<sup>3</sup>/s であり、遮断蒸発量の変化量分は土器川流域では 2.0%、猪名川流域では 1.2%程度に

表 5-1 20 年平均流況 (単位 : m<sup>3</sup>/s)

流量観測所	年平均	渇水	1/10 渇水
常包橋	1.97	0.16	0.03
南田原	1.64	0.18	0.01

相当する。また、常包橋地点の渇水流量が 0.16 m<sup>3</sup>/s、10 年に 1 回の渇水流量が 0.03 m<sup>3</sup>/s、南田原地点では、渇水流量が 0.18 m<sup>3</sup>/s、10 年に 1 回の渇水流量が 0.01m<sup>3</sup>/s と 2 つの流域の流量が少ないことが伺え、遮断蒸発量の変化量分は土器川流域と猪名川流域の渇水流量の 25%、11.1%にあたる。そのため土器川流域で 0.06m<sup>3</sup>/s、猪名川流域では 0.02m<sup>3</sup>/s という値は必ずしも小さい値ではないと考えられる。

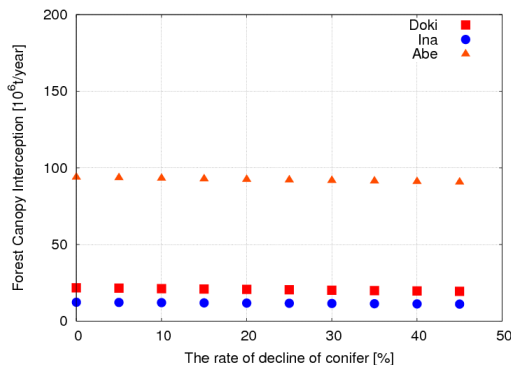


図 5-4 常緑針葉樹と落葉広葉樹の面積を変化させた場合の森林全体の遮断蒸発量の変化 : 横軸は針葉樹の減少率

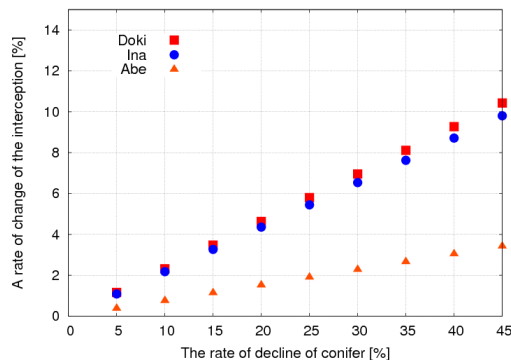


図 5-5 森林植生の変化前を基準とした森林全体の遮断蒸発量の減少率 : 横軸は針葉樹の減少率

## 6. 結論

降雨遮断モデルを用いて常緑針葉樹林と落葉広葉樹林の年間の遮断蒸発量の推定を行い、2 つの遮断蒸発量の比較を行った。これらの計算には、気象庁のデータと国交省の水文水質データベースのデータを使用し、LAI は文献値から求めた。結果を以下に示す。

1. 常緑針葉樹林と落葉広葉樹林の遮断蒸発量の差は、土器川流域と猪名川流域は約 90~100mm/year 程度であった。安倍川流域では約 50mm/year であり、常緑針葉樹のほうが落葉広葉樹よりの遮断蒸発量が大きくなった。
2. 計算値を常緑針葉樹林と落葉広葉樹林の単位面積当たりの遮断蒸発量と仮定し、常緑針葉樹林の面積を減少(25%)させて、その分、落葉広葉樹林の面積を増加させた場合、3 流域の森林全体の遮断蒸発量は減少(猪名川と土器川:約 6%減)した。
3. 森林計画で常緑針葉樹の 25%が落葉

広葉樹に変化したと想定し、遮断蒸発量の変化分を浸透、蒸発しないで流出しないと仮定し流量に換算した場合、土器川では20年平均流量の2.0%、猪名川では1.2%となった。

4. また、その場合の遮断蒸発量の差は、1/10規模の渇水流量よりも大きく、土器川流域では20年平均の渇水流量の25%、猪名川流域では11.1%であり渇水流量の少ない地域において必ずしも小さい値ではないことが示された。

### 参考文献

1. Ho-Taek PARK, Shigeaki HATTORI, Hag-Mo KANG(2000): Seasonal and Inter-Plot Variations of Stemflow, Throughfall and Interception Loss in Two Deciduous Broad-Leaved Forests. J. Japan Soc. Hydrol. & Water Resour. Vol. 13, No. 1 pp. 17-30
2. 近藤純正・中園信・渡辺力(1992): 日本の水気象(2)ー森林における降雨の遮断蒸発量ー. 水文・水資源学会誌, vol. 5, No. 2, pp. 29-36
3. 近藤純正・中園信・渡辺力・石井正典(1992): 森林における降水量の遮断蒸発のモデル計算. 天気, 39, pp. 159-167
4. Brutsaert, W (著者)、杉田倫明(訳)(2008): 水文学, 共立出版
5. 服部重昭・近藤弘栄(1988): ヒノキ林における間伐が樹冠遮断に及ぼす影響. 日林誌, 70, (12)
6. Shigeki Murakami(2006): A proposal for a new forest canopy interception mechanism: Splash droplet evaporation, Journal of Hydrology, 319, 72-82.
7. 佐藤嘉展・久米篤・大槻 恭一・小川滋(2003): 樹冠構造の違いが樹冠通過雨の分布特性に及ぼす影響ースギ林とマテバシイ林における樹冠通過雨特性の比較ー. 水文・水資源学会誌, vol. 16, No. 6, pp.605-617
8. 間島 政紀・田瀬則雄(1982): アカマツ林内の降雨量の空間的分布について. 筑波大学水理実験センター報告, 6, pp.75-82
9. 宇都木玄・荒木眞岳・川崎達郎・石塚森吉(2001): ヒノキ人工林における葉面積指数の季節変化の推定. 日本林學會誌, 83, (4), pp.359-362
10. 石井孝(2007): 衛星データを用いた森林の葉面積指数の推定および炭素固定量の算定と水収支解析への応用. 早稲田大学大学院理工学研究科 博士論文
11. 澤野真治・小松光・鈴木雅一(2005): 森林における年降水量の農地・都市部との違いー日本全域を対象としてー. 水文・水資源学会誌, vol. 18, No.4, pp.435-440
12. Shigeki Murakami(2008): Chapter 8. Unveiled Evaporation Mechanism of Forest Canopy Interception, 279-296, In "New Topics in Water Resources Research and Management", Editor: Henrik M. Andreassen, NOVA Science Publishers, New York, pp.397
13. 後藤義明・玉井幸治・深山貴文・小南裕志・細田育広(2006): 滝の口山森林水理試験地における広葉樹二次林の階層構造に及ぼす攪乱の影響. 森林総合研究所研究報告, vol.5, No.3, (No.400), pp.215-225
14. 気象庁ホームページ「災害をもたらした気象事例」<<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/reportindex.html>> <2010/2/8 アクセス>