

葉ずれ音の発生機構について

横井 雅之[†]

Mechanism of Wind-Induced Foliage Sound Generation

YOKOI Masayuki[†]

Abstract

Wind-induced foliage sound is generated when wind causes grass and leaves to rub against each other. Dead leaves lose moisture and reduce mass, causing the leaves to become stiff. The frequency of wind-induced sound of dead leaves is higher than that of green leaves. This paper analyzes the results of a sound experiment using four types of leaves, which are readily available. Leaf mass and rigidity were compared. After collection, mass decreased daily, and over a 10-day period the leaves were about half of the original. However, rigidity varies widely between the different species of leaves and is 1.5 times the maximum. An analysis model, using sandpaper attached to cardboard was prepared and rubbed together to generate sound. The results show that sound frequency of actual leaves and the sandpaper model were relatively similar.

Key Words: Wind-induced foliage sound, Frictional sound, Leaf rigidity, Leaf fluctuation

キーワード：葉擦れの音、摩擦音、葉の剛性、葉のゆらぎ

[†] 大阪産業大学 名誉教授

草稿提出日 10月15日

最終原稿提出日 11月9日

1. 緒 言

葉ずれの音とは、草や木の葉どうしが風によって摩擦し合うことにより発生する音である。国語辞典には、風などで草木の葉がすれ合い、音を立てること⁽¹⁾と記されている。さらに、この音については古来より和歌などで多く詠まれている。

例えば(1) 笹がたてるさらさらという葉ずれの音として「そよ」を使った場合、“有馬山猪名の笹原 風吹けば いでそよ人を 忘れやはする”(大弐三位(58番)『後拾遺集』恋二・709)や(2)庭にある小さな竹群が風になびき、かすかに発せられた竹の葉ずれの音を詠んだ、“我がやどの いささ群竹 吹く風の 音のかそけき この夕へかも”(万葉集 卷19 4291 大伴家持)などがある。さらに万葉集には、“笹が葉のさやぐ霜夜に七重着る衣に増せる子ろが肌はも”(万葉集 卷20 4431 防人の歌)、“笹の葉はみ山もさやにさやげども我は妹思ふ別れ来ぬれば”(万葉集 卷2 133 柿本人麻呂)などの笹の葉の葉ずれを詠んだ歌もある。

これらの歌、とくに万葉集は犬養が犬養節と呼ばれる独特な節回りで詠んだことで知られている⁽²⁾。現在では、藤村志保による万葉集の朗読CDが発売されている⁽³⁾。このCDに収録されている4291番の大伴家持の歌を聴いていると、“竹が風にさやさやとゆれている情景”が見えて聞こえてくるような感じがする。

また、童謡・流行歌の歌詞にも用いられている。よく知られている歌詞として、(3) 笹の葉どうしが風にゆれて出す音を「さらさら」とした、「たなばたさま」から“ささの葉さらさらのきばにゆれる お星さまきらきら きんぎん砂子(すなご)”(作詞：権藤はなよ・補作詞：林柳波)や(4) 笹の葉どうしが風にゆれて出す音を「さやさや」と表現して、「嵯峨野さやさや」から“嵯峨野笹の葉 さやさやと 嵯峨野笹の葉 さやさやと”(作詞：伊藤アキラ)、さらに(5) 音の対象は明らかにされていないが、詞の前後から察すると「笹」と思われる「さやけき」として、「青葉城恋唄」から、“あの日と同じ 七夕祭り 葉ずれさやけき 杜の都”(作詞：星間船一)などがある。なお、(3)、(5)については、七夕祭りをイメージしていることから小ぶりの「笹」よりも「竹」と言うことも考えられる。同様に(4)の嵯峨野の「笹」については「竹」と思われる。

さらに、同じような音として「戦ぐ(そよぐ)」という言葉がある。Braggは、「木の葉がまだ柔らかい春にはやわらかく、秋になって葉が硬くなるとだんだん粗野な感じになる」と説明している⁽⁴⁾。「葉ずれ」の音は、若葉の時は、葉が柔らかいので、周波数は比較的低い。「さわさわ」、「さやさや」となる)しかし、枯葉に近くなると、葉は硬くなり、硬い物どうしがこすれあう時に発生する周波数は高くなる(「かさかさ」となる)ことを示している。しかし、小松はスキの青葉と枯葉の葉ずれ音のちがいを周波数分析で計測したが、差はほとんど現れなかったと言っている⁽⁵⁾。また、「葉鳴り」というやや強い風による葉ずれの音として、「ざわざわ、ごうごう」という多少うるさい音も存在している。この類似語として、さとうきびを

風がすり抜ける時に葉がこすれ合う状況を詠んだ「さとうきび畑」より“ざわわ ざわわ ざわわ 広いさとうきび畑は・・・”（作詞 寺島尚彦）がある。

葉ずれの音を擬音語で表現すると、用例110のうち17例が見つかった⁽⁶⁾。内訳は表1に示す。他は「葉ずれの音」と記述されていて、具体的な擬音語表現はなかった。

表1 葉ずれの音の擬音語表現

擬音語	さわさわ サワサワ	さらさら	さやさや サヤサヤ	かさかさ	ザワザワ ざわざわ	さああ	サラサラ
用例数	5	3	3	2	2	1	1

一般には、葉ずれの音は樹木全体による道路交通騒音における騒音低減として利用され、その周波数特性を測定して、樹木のマスキング効果を高めることが研究されている。小松らは針葉樹林と広葉樹林との比較なども行っている。音を周波数分析し、距離減衰に伴う周波数特性を示している^{(7)、(8)、(9)}。この中で、5種類の樹木の周波数分析結果では、1000Hz以上の高周波において、明確な違いが現れたとしている⁽⁷⁾。

また、風による樹木の揺らぎを効果音として、リアルタイムアニメーションで生成させることも研究されている。松山らは樹木を枝と葉に分け、揺らぎの付加と効果音の生成をそれぞれ独立に行い、個別に作成された効果音を合成することで樹木全体の効果音としている⁽¹⁰⁾。

これらはいずれも樹木全体から発生する音の周波数特性として考慮されているが、数枚の葉の葉ずれ音についての生成には言及されていない。筆者は種々の摩擦音の発生機構について、研究してきたが、その一環として風により葉が互いにこすれ合った時に発生する音（葉ずれ音）の発生メカニズムの解明を目的とした。

2. 実験方法

対象とした葉は一般に入手しやすい葉とし、「笹（竹）」、「桜」、「小檜」、「椿」の4種類とした。「椿」は常緑樹であり、「小檜」及び「桜」は落葉樹である。小檜および椿は葉が厚くて硬いというイメージがある。ここでは、実際の葉を用いた場合および葉をシミュレートした薄板を用いた場合について、実験を行った。

2.1 実際の葉を使用

葉をよく観察すると、葉の表面は比較的滑らかであるが、裏面は葉脈が通り凹凸がある。この裏面の凹凸と表面が風などによりこすれ合って葉ずれ音が発生すると思われる。また、葉の端面どうしがこすれ合う場合や端面と他の葉とこすれ合う場合などが見受けられる。図1は実験に使用した葉の裏表の写真である。

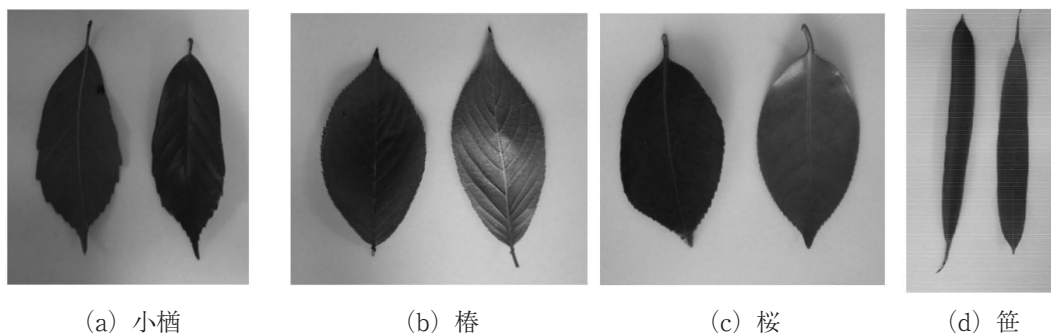


図1 実験に使用した葉の写真（左：葉の表、右は葉の裏）

葉の質量は小型軽量の電子はかりで計測し、葉の剛性は図2に示す小型の穴あけパンチを改造した装置によって求めた。指で押す部分にひずみゲージを貼り付け動ひずみ計により穴あけ時のひずみを荷重に換算して求めた値を葉の剛性とした。

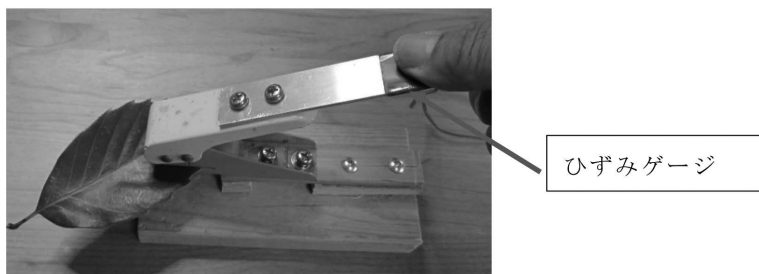
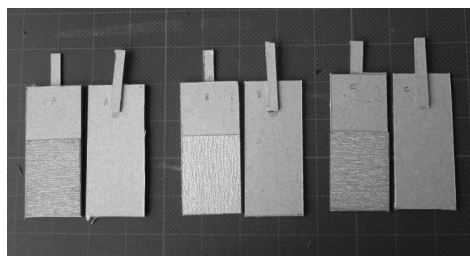


図2 試作した葉の剛性測定器

2.2 薄板でモデル化した葉を使用

ここでは、佐野ら⁽¹¹⁾ および田中⁽¹²⁾ を参考にして、葉を薄い片持ちはりのモデルとして製作した。葉は図3に示すように薄いボール紙で作られている。質量はボール紙の厚さで調整、剛性は粗さの異なるサンドペーパーをボール紙に貼って調整した。実験では、葉の質量は時間とともに減少するが、剛性はほぼ一定またはやや増加する傾向がある。剛性はこすり合わせた時に、抵抗が大きいのが、剛性が大きいと見なした。すなわち、サンドペーパーの荒さ#400と#2000（剛性が大きいのが#400とした）を用いた。ボール紙には片側に薄いサンドペーパーを貼ってある。図3はボール紙にサンドペーパーを貼ったものの表と裏側を示す。これを2枚一組として製作した。いずれも裏面は何も貼っていない。

また、表2には葉のモデルの仕様を示す。



Type (a) Type (b) Type (c)

図3 実験に用いた3種類の葉のモデル
(左側はサンドペーパーを貼ってある)

表2 葉のモデルの仕様

	Type (a)	Type (b)	Type (c)
質量 [g]	3.5	2.0	2.0
剛性	サンドペーパー#2000	サンドペーパー#400	サンドペーパー#2000

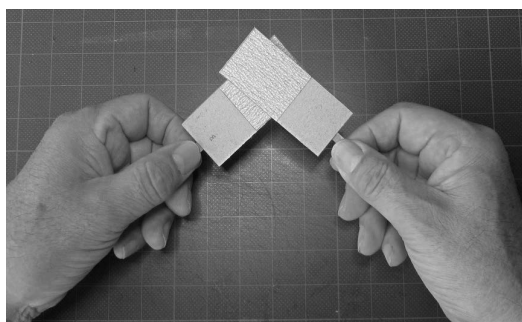


図4 2枚の葉をこすり合わせる (葉の裏と表)

葉をこすり合わせる方法は図4に示すように、葉の表面と裏面をこすり合わせるように行った。

3. 実験結果

3.1 実際の葉を使用

樹々には大きさ(長さ、幅)が異なる多くの葉が存在して、葉の固有振動数がそれぞれ存在するので、全体として、いろいろな固有振動数の音が発生するために、単一周波数の「鳴き音」よりもある周波数を中心とする周波数領域の音が発生する。多数の葉が風にそよいで音を発生させるので、周波数分析を行うと、鳴き音のような明確なピーク周波数は見られない。図5は一例として、風にそよぐ竹林の音を周波数分析した結果である。この音は樹木全体の葉ずれ音とみなせるが、一般に言われている鳴き音のようなピークは見当たらず、ゆるやかな周波数特性を示している。

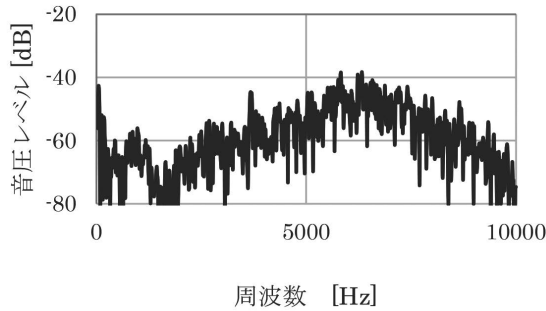


図5 風にそよぐ竹林の音の周波数分析結果

3.1.1 質量および剛性の時間変化

図6は葉を採取後、時間経過によって、葉の質量および剛性がどのように変化するかを調べたものである。採取した日を0日として8～10日の経過の変化を求めた。質量はいずれも時間が経過するにしたがって当初の半分近くまで減少する。椿は葉が厚いので、水分が50%に減少するまで時間が必要と思われる。剛性はばらつきが大きいが椿と桜は10日近く経過しても当初とあまり変化しない。一方、小檜と笹は変動が大きく、当初の1.5倍になった。

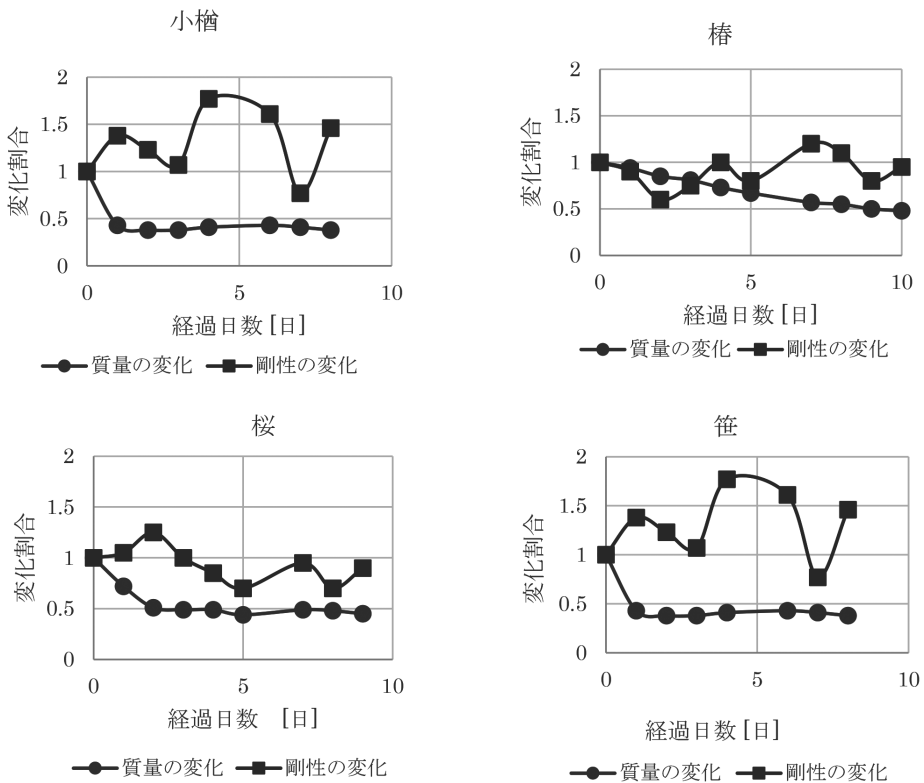


図6 経過日数による葉の質量の変化と剛性の変化の割合

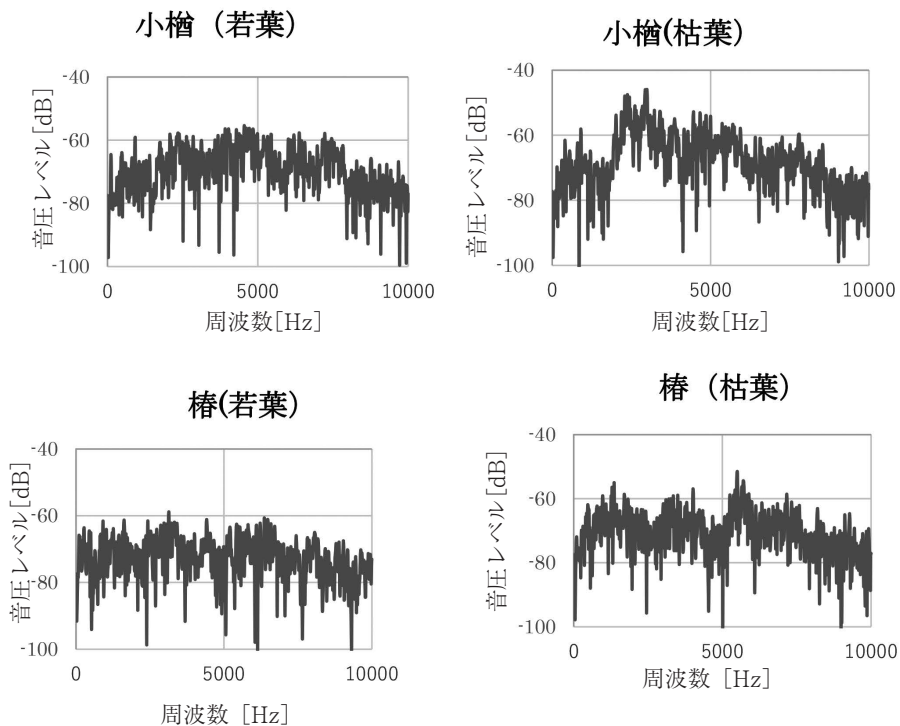
3.1.2 周波数の変化

図6で得られた葉の質量と剛性の時間経過により、質量が M_1 から M_2 、剛性が K_1 から K_2 に変化して、周波数が f_1 から f_2 に変化したとすると、次式が成り立つ。

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_1}{M_1}}, \quad f_2 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_2}{M_2}}$$

葉をこすれ合わせる方法としては、ほぼ同質量の2枚の葉を選び、その葉柄を手で持って葉の裏と表をこすり合わせ、その時の音圧を周波数分析した。図7に4種類の葉について、若葉と枯葉の周波数分析結果を示す。

図より、Bragg⁽⁴⁾の示すように、枯葉のピーク周波数は若葉と比較すると、高周波数に移動していることがわかる。すなわち、若葉ではサヤサヤ、枯葉ではカサカサという周波数がやや高くなった擬音語になる。これは質量が若葉の時より1/2近くに減少し、剛性も横ばいまたは1.5倍に増加するため、振動数は高くなると思われる。



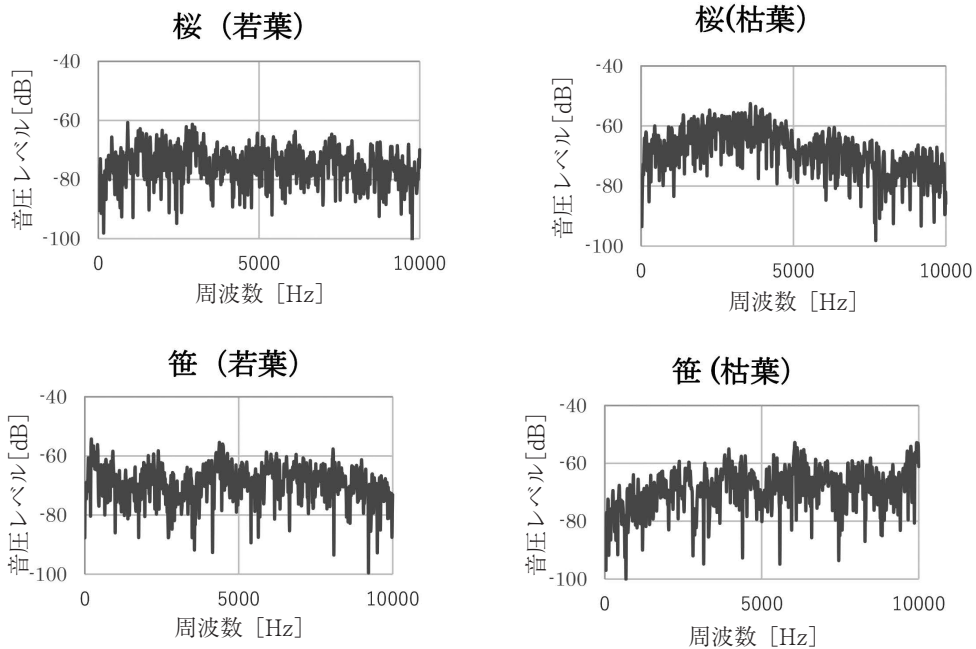
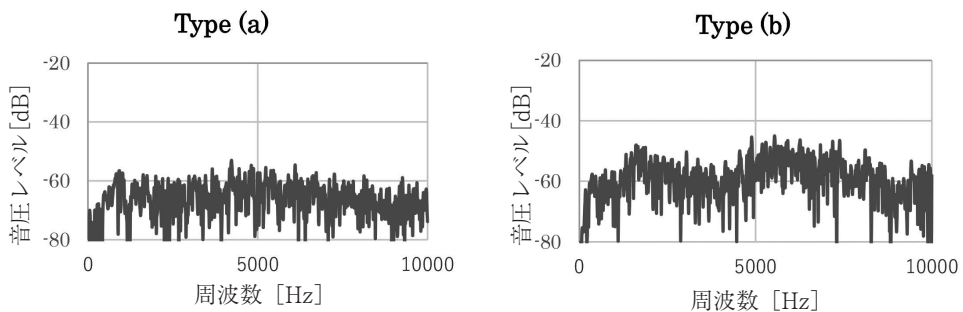


図7 4種類の葉について、若葉と枯葉の葉ずれの音の周波数分析結果

3.2 薄板でモデル化した葉の周波数の変化

モデル化した葉をこすり合わせる事により、Type (a) を若葉モデルと考え、Type (b) は質量が約1/2で剛性は高いので枯葉モデル、Type (c) は質量が1/2で剛性は若葉と同じモデルと仮定した。図8は3種類のモデルを摩擦した時の音の周波数分析結果を示す。Type (b) はType (a) に比較し1800~2000Hzおよび5000~6000Hz付近にややピークが存在、一方Type (c) は2500Hz付近にピークが出現している。いずれも鋭いピークではなく、全体としてレベルがやや大きい。Type (c) とType (a) を比較すると、質量の減少は周波数に大きな影響を及ぼしていることが分かる。



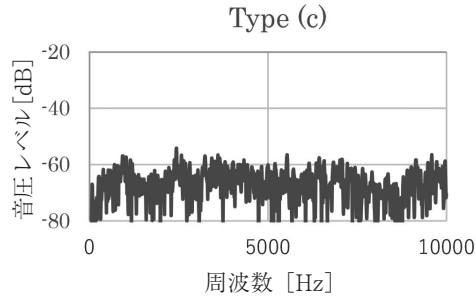


図8 薄板でモデル化した葉の周波数分析結果

草や樹木には大きさの異なる多くの葉がついている。葉の大きさ（長さ、幅）が異なると、それぞれの固有振動数が存在する。したがって、いろいろな固有振動数の音が発生するために、単一周波数のピークが存在する「鳴き音」よりもある範囲の周波数領域の音が発生すると考えられると思われる。これは2枚の葉をこすり合わせた本実験にも適用できる。

4. まとめ

風にそよぐ葉ずれの音の解明を実験的・理論的に行った結果、以下のような結論がえられた。

- (1) ほぼ同一質量の葉を一对として周波数分析した。しかし従来より言われてきた、木の葉を樹木全体とみなした結果とほぼ同一の傾向であった。
- (2) 枯葉は若葉の時より質量が小さくなり剛性は硬くなることが実験より判明した。
- (3) 周波数分析結果より、若葉のときより枯葉の方が発生する周波数が高くなる。
- (4) 同一質量のボール紙とサンドペーパーを用いたモデルによる実験では、周波数分析結果は実際の葉と同じ傾向であるが、質量の異なる葉の組み合わせなどについてはさらなる検討が必要と思われる。

文 献

- (1) 新村出、広辞苑第6版（2008）、岩波書店
- (2) 例えば 犬養孝「万葉集～うたの心」1,
https://www.youtube.com/watch?v=ocsTB_M3ma4（参照 2021.9.15）
- (3) 藤村志保、心の本棚 美しい日本語 暗誦したい万葉の歌（2003）、キングレコード
- (4) Bragg, 栗原喜名芽訳、音の世界（1941）、pp.102-103, 創元社.
- (5) 小松正史,京の音（2006）、p.65, 淡交社.
- (6) 「葉ずれの音」の用例・例文集.jp（参照 2021.9.15）
- (7) 小松正史,加藤徹,桑野園子,難波誠一郎,樹木の発音機構を利用した道路交通騒音低減効果について、日本音響学会講演論文集,（1999）、pp.645-646.
- (8) 小松正史, 加藤徹, 桑野園子, 難波誠一郎, 近藤明, 井上義雄, 山口克人, 樹木葉擦れ音の物理特性, 騒音制御, Vol.24, No.4,（2000）, pp.268-276.

- (9) 小松正史, 音ってすごいね (2004), pp.105-123, 晃洋書房.
- (10) 松山克胤, 藤本忠博, 村岡一信, 千葉則茂, 風による樹木の揺らぎの効果音のリアルタイム生成法, 情報処理学会研究報告, 2003-CG-112, (2003), pp.81-86.
- (11) 佐野元昭, 中川裕, 安齋拓也, 内川千春, 大平武征, 白川貴志, 杉本恒美, ハイスピードカメラを用いた葉の振動計測に関する検討, 桐蔭論叢, 32号 (2015), pp.187-192.
- (12) 田中喜八郎, 機械技術者のための観察とモデリング (2004), pp.22-25, 丸善.