

音響振動分析による樹木の形態と重力-宇宙環境実験のためのその発展

富田-横谷 香織,本橋 恭兵,佐藤 誠吾(筑波大),馬場 啓一(京都大),鈴木 利貞(香川大),桜井 直樹(広島大),矢野 幸子,橋本 博文,山下 雅道,樹木研究チーム(CosmoBon)(JAXA)

Tree form formation and gravity by acoustic vibration analysis - its evolution for the space environmental experiment.

*Kaori Tomita-Yokotani**, *Kyohei Mtohashi*, *Seigo Sato (University of Tsukuba)*, *Kei'ichi Baba (Kyoto University)*, *Toshisada Suzuki (Kagawa University)*, *Naoki Sakurai(Hiroshima University)*, *Sachiko Yano*, *Hirofumi Hashimoto*, *Masamichi Yamashita*, *Tree working group(JAXA)*

*Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8572, Japan kaboka@sakura.cc.tsukuba.ac.jp

Abstract: Our main object of this report is the proposal of utilization of tree in space environment. We would need woody plants in space for several uses when we live in the space environment. In this study, we try to investigate the possibility about the inner component in the tree using the one of methods of undestruction methods, acoustic vibration analysis. The differences between two upright and weeping types of *Prunus* sp., Japanese cherry tree, were the first investigated by an acoustic vibration analysis. In this time, we report the further simple method for space experiments using by acoustic vibration analysis, undestruction method.

Keywords; Acoustic vibration, Japanese cherry tree, Space Agriculture, Wood formation, Woody plant

<宇宙環境で樹木を利用する>

我々は、宇宙利用における樹木研究について、樹木研究チーム(CosmoBon)として、継続して研究を行っている。本年度も昨年に続き、1つの国際会議と4つの国内学会とシンポジウムに参加・発表した。我々樹木研究チームは、具体的に**宇宙で樹木を利用する(できる)**ことを目的に研究を行っている。

樹木は、閉鎖型のエコシステム内で利用すれば、二酸化炭素の吸収や酸素の供給に寄与することができる。また、宇宙環境における農業も、樹木を含むことで、食糧ともなりえる上に、資材として供給も可能であるなど、多方面に貢献が可能な材料であり、生物種の一つとなる。長期宇宙滞在での癒しや生物間相互作用研究などにも深く関係し、またこれらの生物有機物から有用な薬品類も簡便に利用することも可能であると考えられる。圏外滞在の現場におけるエネルギーとしても利用できる可能性を持つ。

この中で、材として樹木利用する場合を考えた場合、樹木の形が宇宙環境でどうであるかという点を知っておくことは、利用時に極めて重要である。特に宇宙環境で硬さや材としての資質がどう育ちどう使えるかは、まだわからない。とりわけ、材料として使用する場合に、材の形や硬さなどは目的により極めて重要な要素となる。

樹木は草本と比較すると、巨大でその質量も高い

ことから、自重を支えるための多くの応答機能が具備されていることが容易に予測される。針葉樹は、圧縮あて材を、広葉樹は引張あて材を形成することで、樹木の枝は、本来行きたい方向に伸長する。これらの制御として、重力に対する正確な応答機能も必要と予測される。このような観点から、樹木の形態や環境応答に関わる分子の探索を中心に、これまで研究を進めてきた。研究を行うとき、その実験材料生物種の選定は実に重要な意味を含む。宇宙環境で樹木を利用することを提案する研究に、日本からの発信としてふさわしい樹種を材料として選定し、しだれ性という立ち性と異なる品種が長く維持されていることや、古来より、鑑賞のほかに、細工用の材や、薬用、食用にも用いられてきた経緯を鑑み適当と考えられたサクラ (*Prunus* sp.) を材料として進めている。また、ヤマザクラに関して、形態と重力に関する研究が手がけられており、その情報が蓄積されていることから適当であると考えた。

これまでに、サクラを材料とした樹木の形態と重力に関係した研究で、馬場、中村らは、見事な研究をサクラを材料として行い報告している。しだれ性株の枝にジベレリンを与えることで、立ち性株と同様の形態を現すことをはじめて報告した。また、ジベレリンを投与することで、木部の肥大生長が引き起こされることも明らかにしている。

地上の環境で、しだれ性株に植物の主要生長調節物質の一つであるジベレリンを与えることで立ち性株の形態を示すこと、およびジベレリンが肥大生長を促すことが明らかにされているが、立ち性株にジベレリンの機能阻害剤を与えてもしだれないことなどから、重力が変化する宇宙で実際の樹形がどう示されるのかについては、まだわからない。

<各環境曝露試料の内部情報を非破壊で得たい>

これまで、生物材料を数多く用意して、生長過程で破壊し抽出していくことで内部の成分変化を経時的に調べていくことを行い現在も進めているが、樹木サンプルのように、個体寿命が長いことに加え、遺伝的バックグラウンドが異なる場合、過酷環境曝露を行った生物材料を破壊して調べるより、非破壊で内部構築成分情報を経時的に得ることができれば、より簡便で宇宙環境内でも応用できる技術となる可能性がある。そこで桜井らにより果実の熟度を調べるために開発された音響振動法を用いて、樹木の形と内部構築成分との関係に使えるかについて検討を行った。

<音響振動を用いた非破壊試験>

音響振動方法の利点は、①複数の共振を測定できる、②多くの内部情報を得られる、③樹木に与える振動の周波数帯域や大きさを一定にできるため共振周波数の再現性が高い、④材料への損傷がほとんどない、などがある。音響を用いた非破壊試験は、例えば、円柱のある側面の1点に音響を与えることで、第二共振・第三共振が現れ、 ∞ に振動する。この振動を受信すると、音速は周波数 \times 波長で本来常に一定となることを応用している。小久保・桜井らによるとりくみによれば、これを樹木の腐朽度、つまりどの程度樹木内部が腐っているのかということに当てはめたところ、内部情報を実によく現すことができたことを報告している。

方法：筑波大学農林技術センター内の野外のサクラ(*Prunus* sp.)を材料として用いた。サクラ立ち性およびしだれ性の幹と枝について、12方向での共振周波数の測定を行い、そこから音速を導きだし、各データ間のばらつきを示す CV(%)を用いて内部構築の不均一性を計測した。用いた計算式は、音速=周波数 \times 波長、2次共振の音速=2次共振周波数 \times 幹周/2、CVは、12か所の音速のばらつきの程度を示し、SE/平均音速 \times 100=CV (%)とした。

結果および考察：立ち性としだれ性の幹と枝についての、音響非破壊試験の結果は、立ち性はしだれ性よりも音速が低かった。また、12か所における音速とSEおよび12か所の音速のばらつきの程度を示

す CV 値から、しだれ性の内部は、立ち性のそれよりも均一である可能性を示唆した。

これまでこの方法を手掛けてきた桜井、小久保らの報告によれば、本来一定の音速は健常であると速度が上がる、すなわち内部が硬い、さらにいいかえれば水分が少ない状態を示すと報告している。これはすなわち、音速が速いと内部が硬く、低いと柔らかいことを示す。本結果は、しだれ性よりも、立ち性の方が音速が低い結果を示したが、広葉樹のたち性株はあて材形成機能を持ち、セルロースリッチで、実に分解困難で複雑な構造を持つリグニンが明らかに低下することから、化学構造的には柔らかくなる。また、音速のばらつきの程度 CV の数値は、小さいほど、内部が均一であることを示すことは、しだれ性は特別な材を作れないことが知られていることから、内部は構造的に均一である可能性を示唆する。しだれ性はいわゆるあて材形成能が低いことは、本結果の可能性を支持する。

振動の原理からすると、生物対象のデータとして豊富な情報蓄積が必要となるが、それぞれのばらつきの程度の値で、内部情報を得られる可能性が示された。これから実際の均一性について、今後破壊試験で成分分析を詳細に行うことにより、よりこの結果を支持することができると思う。

今回の重力を感知してあて材を作る機能を持つ立ち性株と、そうでないしだれ性株を材料とした音響振動を用いた非破壊試験における各結果は、貴重な材料を伐採することなく内部構築成分を予測することが可能であることの希望を残した。今後、これらの詳細な情報蓄積から、宇宙環境や地上の双方で、適した材料への分割などが、伐採前に知る技術開発に繋がる可能性が考えられる。

閉鎖環境となる生態システムについて、宇宙環境を想定した全体の研究は、究極は地上における環境が深刻化した生物の生命維持のための改善などにもつながる可能性がある。樹木 RT(CosmoBon)が導く成果は、宇宙に限らず地上においても、樹木利用の利点を活かすことが可能である。これらの成果は、さまざまな閉鎖型エコシステム内における文化と科学を含んだ、学際的研究領域として、総合的に研究される礎となる可能性も十分に含むと考えている。

<参考文献>

- Baba, K., Adachi, K., Take, T., Yokoyama, T., Itoh, T., Nakamura, T. (1995), Induction of tension wood in GA₃-treated branches of the weeping type of Japanese cherry, *Prunus spachiana*. *Plant Cell Physiol* 36:983-988.
- Funada, R., Miura, T., Shimizu, Y., Kinase, T., Nkaba, S., Kubo, T., Sano, Y. (2008) Gibberellin-induced formation of tension wood in angiosperm trees, *Planta*,

227, 1409-1414.

Kokubo, R, Sakurai N. (2010) Abstract of 60th Annual Meeting of the Japan Wood Research

富田-横谷香織、佐藤誠吾、馬場啓一、鈴木利貞、中村輝子、橋本博文、山下雅道 (2009) サクラ当年枝の形態形成と重力 *Space Utiliz Res*, **25**

富田-横谷香織、田村憲司、吉田滋樹、橋本博文、丹生谷博、船田良、片山健至・鈴木利貞、馬場啓一、千木容、本間環、宮川照男、飯田正人、中村輝子、中野完、山下雅道 (2008) マメザクラ極小盆栽を用いた宇宙実験による樹木の機能解析 *Space Utiliz Res*, **24**, 415-416

富田-横谷 香織、吉田 滋樹、田村 憲司、橋本 博文、丹生谷 博、船田 良、片山 健至、鈴木 利貞、宮川 照男、飯田 正人、中村 輝子、山下 雅道 (2007) 宇宙における樹木-宇宙における樹木形態形成に關与する環境機能分子および樹木の応用利用, *Space Utiliz Res*, **23**, 389-390

富田-横谷 香織、吉田 滋樹、田村 憲司、橋本 博文、丹生谷 博、船田 良、片山 健至、鈴木 利貞、宮川 照男、飯田 正人、中村 輝子、山下 雅道 (2006) 宇宙環境における樹木の形態形成と機能分子および樹木の応用利用, *Space Utiliz Res*, **22**, 308-310

中村輝子、菅野真実、津島美穂、千木容、佐々奈緒美、富田-横谷香織、山下雅道 (2005) 宇宙生活環境としての重力. *Space Utiliz Res*, **21**, 314.

中村輝子 (2004) 重力による樹木形態形成の制御 *日本マイクログラビティ応用学雑誌* **21**, 79-82.

Nakamura T., Negishi Y., Sugano M., Funada R. and Yamada M. (2002) Gravisensing Mechanism in Japanese Flowering Cherry. *Space Utiliz. Res.* **18**, 184-185.

馬場啓一 (2003) あて材の構造と形成 in 「木質の形成」 pp. 76-80 福島和彦ら編 海青社

中村輝子 (2000) 樹木と重力. *宇宙生物科学* **14**, 123-131.

島地謙 (1983) あて材の生因を探る一特に針葉樹の圧縮あて材について一 *木材研究・資料* **18** 1-11.