

宇宙環境利用のための樹木研究(CosmoBon) - 非破壊音響振動法を用いた基礎研究

富田一横谷香織, 本橋恭兵・中川明子, 佐藤誠吾(筑波大), 馬場啓一(京都大),
鈴木貞利(香川大), 矢野幸子, 橋本博文, 山下雅道, 櫻井直樹, 樹木RT(JAXA)

Tree research, CosmoBon, for utilization of space environment

Kaori Tomita-Yokotani, Kyohei Motohashi, Akiko Nakagawa, Seigo Sato, Kei'ichi Baba, Toshisada Suzuki, Sachiko Yano, Hirofumi Hashimoto, Masamichi Yamashita, Naoki Sakurai, Tree RT.*

*University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8572
E-Mail: yokotani.kaori.fn@u.tsukuba.ac.jp

Abstract: We have been studying the proposal of utilization of trees in an outer space environment for our future space agriculture such as on Mars or other outer planets including that in a space craft. Trees produce excess oxygen, woody materials for the living cabin, and provide a biomass by cultivating crops and other species of creatures. Our dwelling would be built using these materials in an exotic environment. We will have to know the wood shape formation grown under outer space environmental conditions for their use because the effect of such an exotic environment on physical matter would be far different from our earth, and the tree morphology would depend on gravity. We analyzed and estimated the inside chemical composition in the part of tension wood. The existence of the part of tension wood could be conformed by acoustic vibration analysis as a nondestructive method. Our results suggest that this analysis would be useful for determining the inside composition including the tension wood formation as a nondestructive method after being exposed to outer space environment.

Key words; Acoustic vibration, Japanese cherry tree, Space agriculture, Tension wood, Woody plant

1. はじめに

人類の宇宙環境への進展に伴い、宇宙環境における居住を想定した総合的研究が要求されている。宇宙環境における閉鎖型生態系内の生活は、投入資材を出来る限りリサイクルするなど、高い物質循環技術を伴う。我々は、その中で、宇宙環境利用における樹木研究について、樹木研究チーム(Tree Research team, RT; CosmoBon)を構成し、具体的に樹木を宇宙で利用することを目指した継続研究を行っている。樹木を宇宙環境で利用することを想定した研究を行うために、対象材料の樹木を用いて、具体的宇宙実験系の実現を目指し、研究を進めている。

樹木は、閉鎖型エコシステム内で利用することで、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が、それだけにとどまらず、宇宙環境における農業に樹木を加えることで、食糧ともなりえる上に、資材として供給も可能となる。長期宇宙滞在での癒しや人間を含めた生物間相互作用研究などにも深く関係するばかりでなく、これらの樹木由来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。また、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。

これら多岐にわたる宇宙環境における樹木利用の利点の中で、樹木を材として利用する場合を考えた場合、樹木の形が宇宙環境でどのように変化するかを知ることは、構築物の設計や利用時に極めて重要となるばかりでなく、樹木生理の基盤研究としても重要となる。宇宙環境で生育した材の強度や、材としての利用に関わる有用性や適性は、樹木を宇宙環境で生育してはじめてわかる。しかし、樹木は草本と比較すると、巨大でその質量も大きいことから、宇宙実験系への具体化が難しい現実がある。樹木の形態形成は、自重を支えるための多くの応答機能が具備されている。これらの問題点を考慮した上で、具体的宇宙実験系の設計に取り組んだ。

樹木に特徴的なあて材に注目した宇宙実験系を検討した結果、非破壊による実験系の構築が提案された。地上における準備実験として、重力と樹木に係る研究蓄積が継続してなされているサクラ(*Prunus* sp.)を材料として、非破壊音響振動法による

樹木の形態や環境応答に関わる分子の探索への発展研究を目指した。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。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。小久保・桜井らの報告に、これを樹木の不朽度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示している。我々は、これまでに、筑波大学農林技術センター内の野外のサクラ(*Prunus* sp.)の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、音響非破壊試験で、立ち性株としだれ性株の著しい違いを見出し、音響振動法を用いることで、非破壊による内部構築成分の分布を調べることにより利用できることを報告した。実際の内部構築成分の分布を、化学的手法により分析することで、よりその可能性を確かめることができる。そこで、非破壊音響振動法による音速および CV 値を求め、同時にあて材形成部に特異的な分布を示すリグニン成分を指標として双方の結果の関係を調べた。

2. 材料および方法

<音響振動による非破壊試験>

筑波大学農林技術センター内の野外のサクラを実験材用に用いた (Fig. 1 and 2)。12 あるいは 4 方向における共振周波数の測定を行い、その結果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。用いた計算式を以下に示す。

$$\text{音速} = \text{周波数} \times \text{波長}$$

$$2 \text{ 次共振の音速} = 2 \text{ 次共振周波数} \times \text{幹周} / 2$$

$$\text{SE} / \text{平均音速} \times 100 = \text{CV} (\%)$$

<クラークソン法および Py-GC/MS によるリグニンの定量>

音響振動法により音速および CV 値を測定した後の立ち性およびしだれ性株の樹木枝のあて材形成部域を約 3cm 切り出し、樹皮を取り除いた後、基部側切断面を正面にして 90 度ごとに上下左右に 4 分割した。各木片を約 1cm 角の小片にした後、粉碎機により細分化し、気乾した後、粉碎物を 40~80 メッシュ (420~177μm) でふるい分けし、均一な木粉を用意

した。脱脂木粉を調整したのち、常套方法によりソックスレー抽出・クラークソンリグニン定量を行った。また、同様に得られた均一な木粉を、キューリポイント型熱分解用パイロホイルに包み、その後石英管に備え、熱分解装置の試料室に取り付けた後、Py-GC/MS に供した。条件を次に示す。熱分解装置: JHP-5, 熱分解温度: 500℃, 熱分解時間: 4 秒, パイロライザー温度: 250℃, トランスファーチューブ温度: 250℃, GC/MS 装置: The MSroute MS-600(JEOL), カラム: DB-5MS(25m×0.25mm 膜厚 0.25μm), カラム温度: 50℃で 1 分間保持、5℃/min で 280℃まで昇温後、13 分保持、キャリアーガス: ヘリウム, インタージェクション温度: 280℃, インターフェイス温度: 280℃, イオン源温度: 210℃, イオン化電圧: 70eV。

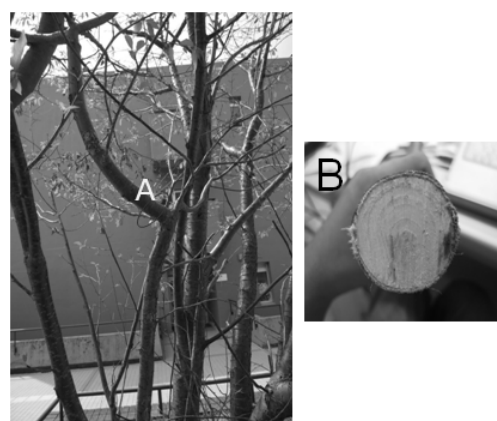


Fig.1 Photographs of the upright Japanese cherry tree (*Prunus* sp.). The part of A was analyzed. A; basal part of branch, B; cross section

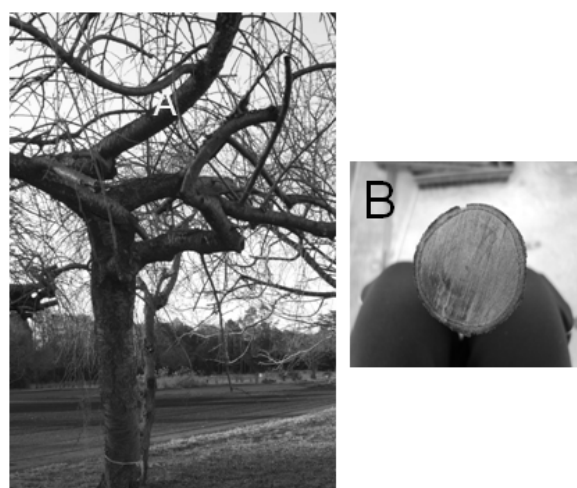


Fig. 2 Photographs of weeping Japanese cherry tree (*Prunus* sp.). The part of A was analyzed. A; basal part of branch B; cross section

3. 結果および考察

立ち性としだれ性の幹と枝について、音響非破壊試験を行った結果、それぞれの音速とこれらの結果から導き出される CV 値により、しだれ性株の内部

構築成分は、立ち性株よりも均一であると推定された。この結果は、内部総リグニン量およびリグニン関連物質の分布分析とよく一致した。これらの結果は、宇宙実験時に利用できる可能性をさらに強く示す。この結果をもとに、音響非破壊試験装置をより小型の生物材料を対象として分析が可能となるように開発がされつつある。現在最小で直径 3cm が必要であるが、1cm 以下まで可能となれば、宇宙実験用樹木盆栽 (CosmoBon) を用いた宇宙実験を具体的に設計が可能となる。

<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
- Motohashi, K., Tomita-Yokotani, K., Sato, S., Baba, K., Suzuki, T., Sakurai, N, Hashimoto, H., Yamashita, M. and Tree RT (CosmoBon) (2012) The differences between upright and weeping of *Prunus* sp. on the acoustic vibration analysis, *Biol.Sci. Space* (in press)
- Nakamura T., Negishi Y., Sugano M., Funada R. and Yamada M. (2002) Gravisensing Mechanism in Japanese Flowering Cherry. *Space Utiliz. Res.* **18**, 184-185.
- Tomita-Yokotani, K., Motohashi, K., Baba, K., Furukawa, J., Sato, S., Suzuki, T., Hasegawa, Y., Hashimoto, H., Yamashita, M., Tree working group. (2010) The investigation of space environmental tolerance in tree for space utilization. *Space Utiliz Res.*, 26, 166-167.
- 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、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.
- 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.
- 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関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