

# 温暖化実験装置についての報告

金井 隆治、正木 大祐

筑波大学生命環境科学等技術室（菅平高原実験センター）

〒386-2204 長野県上田市菅平高原 1278-294

## 概要

2010 年秋に中央アルプスの信州大学西駒演習林に設置した Open Top Chamber 方式の温暖化実験装置（天井が開いた透明な箱、以下 OTC）のメンテナンスを 7 月と 9 月の 2 回行った。積雪による被害でいくつかの OTC が破損し、温度ロガー等も被害を受けた。積雪の被害を最小限に抑えるため、OTC の改良を行った。また、菅平高原実験センター内のススキ草原にも 5 基の OTC を設置した。

**キーワード：**地球温暖化、オープントップチャンバー、野外操作実験、森林限界

## 1. はじめに

2010 年度、筑波大学・信州大学・岐阜大学を中心とする中部山岳大学間連携事業が行っている温暖化実験で使用する OTC (105 × 105 × 210 cm) を開発・設置した（図 1）。実験地は中央アルプス将基ノ頭直下にある信州大学アルプス圏フィールド教育研究センター西駒ステーション内の標高 2500 m から 2600 m の山岳森林限界周辺である。



図 1. 西駒演習林に設置した OTC

設置した OTC には一年中波板を取り付けておく通年温暖用（5 基）と積雪期は波板を取り外してしまふ夏季温暖用（5 基）の二種類がある。2010 年 9 月下旬に設置したため、夏季温暖用の OTC には融雪次第波板を取り付ける必要があった、また積雪による OTC や観測機器への影響も確認する必要があった。このため 7 月上旬に一度実験地に向かった。さらに 9 月下旬には二度目の冬に向けた準備のために実験地に向かった。

菅平高原実験センター内ススキ草原に設置した OTC は 5 基とも通年温暖用であり、こちらは雪によ

る被害はほとんどなく、温度の観測や積雪量の観測が順調に行われた。

積雪による被害の状況とその対策について、また温暖化装置の効果について報告する。

## 2. 雪による被害

7 月 5 ～ 6 日に OTC の状況確認と夏季温暖用への波板の取り付けのため、著者ら二人で実験地に向かった。

菅平高原実験センター内の 2010 年度の積雪は例年に比べると多めであり、同様に実験地周辺の積雪も多いという情報が寄せられていたため、6 月上旬に実験地に向かう予定であった。しかし実験地の天候が悪く、また参加者の日程調整も上手くいかなかったため、7 月上旬までずれてしまった。さらに先生方が多忙であるため、当センターの技術職員 2 名だけで作業に向かうことになった。

OTC の開発・設置の段階から、雪への知識と経験を活かしていたものの、冬季の実験地の状況は未知であり、OTC への期待と不安の中準備を進めた。

実験地に到着してまず目にした OTC は、少し歪んでいたものと波板の剥げ落ちたものだった。その次に目にした OTC は倒壊していたため、被害の大きさが想像以上であることに大きな衝撃を受けた。しかしながら、すべての OTC を確認していくにつれ、ほぼ無傷の OTC もあることが分かり、雪による被害は一部では予想以上であり、一部では想定内であった。

## 3. OTC の状況と現場での対応

通年温暖用 OTC は波板が破損（折れる、曲がる）していることを想像していた。しかし、そのような破損は少なく、上部がフレームごと破損した OTC や倒壊した OTC があった。波板がとれていた OTC については、強風が原因であると思われるが、倒壊した OTC は原因が分からなかった。上部が破損した OTC については、表層雪崩の可能性が考えられた。予想外の破損があったものの無傷の OTC が 2 基あり、その耐久性能も証明された。

夏季温暖用 OTC はフレームのみで越冬した。どのような力が加わっているかは分からないが、フレームが全体的に斜面下側にずれていた。また支柱もほぼ沈下（地面に刺さる）していて、アンカー杭（支柱固定用の杭、以下アンカー）がない支柱はより沈下していた。支柱固定用のアンカーであったが、地面が柔らかかったこともあり、十分な効果を発揮している場所は少なかった。場所によってはボルト・ナットが抜け、支柱とアンカーが分離している OTC もあった。

多数設置していた温度ロガーは、温度を安定的に測定するために設置したカバー（以下、ロガーフード）が破損してしまい、その中の温度ロガーも脱落していた。また、その他の観測機器と専用ロガーをつなぐケーブルも切断されていた。

2011年7月のOTC全10基の個々の状況と、それに対する現地での対応は次の通りである。

#### ① 通年温暖用 OTC (全5基)

倒壊1基・一部破損2基・無傷2基

##### 通年温暖用1 (図2)

状況：上部の破損。OTC上部の波板と梁が激しく曲がっていた。同様に下部の波板も歪んでいた。OTCのフレームが斜面下側に少しくずれ、全体的に沈下していた。

対応：何もしない。

##### 通年温暖用2 (図3)

状況：波板一部剥げ。梁脱落。8枚中4枚の波板が剥げ落ちていた。張り綱も切断され、ボルト・ナットが脱落し、梁も落ちていた。フックボルトも一部が脱落しOTC周辺に散乱していた。

対応：実験地に残置してきたフックボルトと、撤去したOTCの波板を使用して修復した。ボルト・ナット・フックボルトを回収し固定し直した。

##### 通年温暖用3 (図4)

状況：ほぼ無傷。全体的に斜面下側へずれていた。アンカーを使用していない支柱の沈下とその他の支柱のわずかな沈下があった。

対応：何もしない。

##### 通年温暖用4 (図5)

状況：ほぼ無傷。全体的に斜面下側へずれていた。アンカーを使用していない支柱の沈下とその他の支柱のわずかな沈下。

対応：何もしない。

##### 通年温暖用5 (図6)

状況：倒壊。支柱が抜けないように固定してあったアンカーごと引き抜かれ倒れていた。張り綱も切断。波板も剥げ落ち、固定用のフックボルトも取れていた。また支柱はねじれていて、ボルト・ナットも脱落し周辺に散乱していた。

対応：実験地での復旧の見込みが無く、登山道を塞ぐ様な形で倒れていたために分解撤去した。部品は実験地に残置した。

#### ② 夏季温暖用 OTC (全5基)

上部破損1基、歪み4基

##### 夏季温暖用1 (図7)

状況：上部が破損。フレームの上部が激しく破損していた。梁も曲り、一部は断裂していた。張り綱も切れ、支柱はすべてが内側に曲がっていた。

対応：破損が大きいため波板は取り付けない。



図2. 通年温暖用1のOTC



図3. 通年温暖用2のOTC



図4. 通年温暖用3のOTC



図5. 通年温暖用4のOTC

夏季温暖用 2 (図 8)

状況：前年度一番初めに設置した OTC で、設置時から歪みがあった。雪によりさらに歪みが大きくなった。

対応：歪みが大きすぎるため波板は取り付けない。

夏季温暖用 3 (図 9)

状況：張り綱切断。フレームが全体的に斜面下側にずれた。アンカーのない支柱が沈下、それ以外の支柱はわずかに沈下。

対応：波板取り付け。張り綱設置。

夏季温暖用 4 (図 10)

状況：フレームが全体的に斜面下側にずれた。アンカーのない支柱の沈下、それ以外の支柱はわずかに沈下。

対応：波板取り付け。

夏季温暖用 5 (図 11)

状況：フレームが全体的に斜面下側へずれた。アンカーのない支柱の沈下、それ以外の支柱はわずかに沈下。

対応：波板取り付け。



図 8. 夏季温暖用 2 の OTC



図 9. 夏季温暖用 3 の OTC



図 6. 通年温暖用 5 の OTC



図 10. 夏季温暖用 4 の OTC



図 7. 夏季温暖用 1 の OTC



図 11. 夏季温暖用 5 の OTC

## 4. OTC の改良

菅平高原実験センターに戻り、田中助教に状況報告を行い、対策を検討した。9月下旬に調査隊に同行して筆者ら二人も実験地に向かい、更なる補強を行うことが決まった。それまでにボルト・ナットが脱落しないように強固に取り付ける方法、ロガーフードの改良、張り綱の改善を行うこととなった。

### 4.1 ボルト・ナットの固定

OTC は特に冬季に樹木等が落葉しているため強風にさらされる。そのため波板の上部や縁は風に煽られる。その結果、OTC 全体が振動して、ボルト・ナットが緩んでしまう。その対策としては、ボルト・ナットが緩まないように固定することと、波板をできるだけ隅まで止めることが重要な課題だと考えた。非常に脱落しにくいナットも市販されているが、予算の関係からボルト・ナット用の接着剤ねじロック 243 (ヘンケルジャパン、神奈川) を使用することにした。これは、振動のような小さな力への耐久性が非常に高いが、大きな力をかけると取り外しを行うことができるという接着剤で、調整作業も行いやすい。

### 4.2 ロガーフードの改良

昨年設置したロガーフードは強度不足のため、積雪に耐えることができず、その多くが壊れてしまった。そのため、温度ロガー自体も脱落し、データ回収に支障が出た。データ測定と回収を確実にするために、強度の高いロガーフードを設計することが大きな課題となった。

強度と加工のしやすさから外径 89 mm・内径 77 mm・厚さ 6 mm の塩化ビニール製のパイプを使用し、長さを 156 mm に加工して白く着色した(図 12 左)。これを現地で、長辺が南北の向きになり、ロガーフードの北側が下がるように 35.8 度の角度に設置すれば、温度ロガーは常に日陰に保たれ、安定的に測定が行える(図 12 右)。



図 12. 改良したロガーフード (右側：中には温度ロガー)

### 4.3 張り綱の改善

張り綱は途中で切断していたものはほとんどなかったが、支柱と接している部分で擦り切れていた。

昨年、使用した 10 mm 幅の張り綱から 15 mm 幅の張り綱に変更し、結び方も工夫することにした。

## 5. 設置

9月28～30日、信州大学関係者9名と当センターから著者らと田中助教を含む計12名で調査およびメンテナンスのため実験地に向かった。2010年同様に西駒山荘に宿泊して作業を行った。日程と作業内容は次の通りである。

9月28日 天候：晴れ。

2010年同様、桂小場の登山道から入山。信大西駒演習林内の登山道を経て実験地入りした。実験地到着後、簡単な打ち合わせを行い、作業を開始した。

まず、夏季温暖用 OTC の波板の取り外し作業を行った。さらに、植生調査の際に邪魔になるため通年温暖用 OTC の波板も一部を取り外した。

9月29日 天候：晴れのち曇り。

前日に引き続き、通年温暖用 OTC の波板の取り外しから作業を開始した。次にボルト・ナットの固定を行った。OTC の下部はそれほど風の影響を受けないため、上部を中心にすべての OTC でボルト・ナットの締め直しと接着剤の注入を行った。同時にフックボルトの位置も調整し、できるだけ風に煽られないように波板を固定し直した。

植生調査が終了し、新たなロガーとロガーフードが取り付けられた通年温暖用 OTC は順次波板の取り付けを行った。新しいロガーは、ロガーフードと一緒に固定せずに、別々に固定した。これは万が一ロガーフードが脱落してもロガーが残るようにするためである。

上部が破損していた通年温暖用 OTC は、7月に撤去した OTC の部品を利用してできる限り修復した。フレーム上部は歪んだままだが、梁を入れ替えて新たな波板を取り付けた(図 13)。張り綱が切断していた OTC については張り直しを行った。

天候が良かったため、予定していたほとんどの作業を終了させることができた。



図 13. 図 2 の OTC の修復後

9月30日 天候：霧雨。

朝から霧雨の降る天候であったが、メンテナンス作業の確認と実験地に残置する物品の確認と固定を

行った。主な作業は前日までに終了していたため、それほど時間を必要とせずに作業を終了することができた。植生調査隊の作業も終了したので下山を開始した。昼過ぎには無事下山することができた。

## 6. OTC の温暖化効果

西駒演習林では前述したように設置した温度ロガーは、ロガーフードの破損のために多くが故障していたが、残りの温度ロガーによって OTC の温暖化効果を確認することができた。

冬季：通年温暖用 OTC 内の積雪は OTC 外よりも少ないため、最低気温は OTC 内の方が低くなった。これはおそらく OTC 内は積雪が少ないため、温度ロガーが雪面より上部にあり外気にさらされていたが、OTC 外のロガーは積雪内にあるため周囲の温度が一定となっているからと考えられる（図 14）。

夏季：通年温暖用・夏季温暖用共に OTC 内の方が OTC 外よりも気温がわずかに高い。平均気温で 0.3 °C、最高気温では 3.0 °C、OTC 内の温度が高くなった（図 15）。

菅平高原実験センターススキ草原内に設置している OTC は積雪も比較的少なく、風による影響も少ないため、OTC が破損することもなく、順調に実験が進んでいる。

冬季：西駒演習林と同様で OTC 内の積雪量は少ないが、温度ロガーの高さが 100 cm のため雪に埋もれることはなかった。そのため極端な温度差は観測されなかった（図 16）。

夏季：草丈が温度ロガーの高さを上回り、草に覆われた結果、OTC 内と OTC 外の気温は単純に比較できなかった。気温に差はなかったが、OTC 内は成長速度が速く、草丈も OTC 外より高かった。これは温暖化効果によるものと考えられる（図 17）。

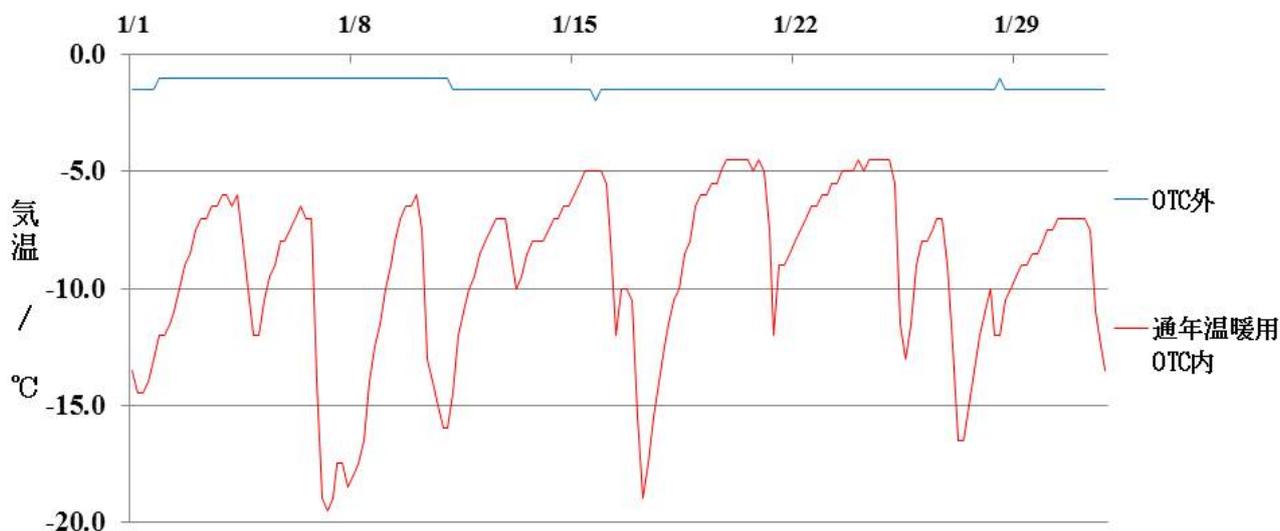


図 14. 西駒演習林 OTC 内と OTC 外の気温（2011 年 1 月 1 日～31 日、高さ 30 cm）

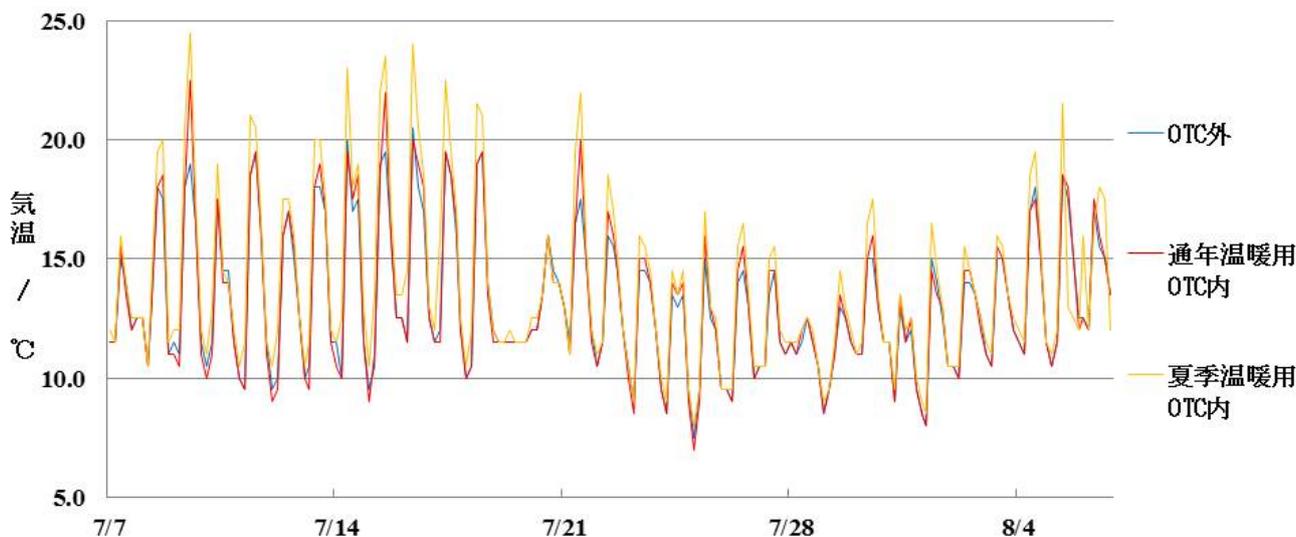


図 15. 西駒演習林 OTC 内と OTC 外の気温（2011 年 7 月 7 日～8 月 6 日、高さ 30 cm）

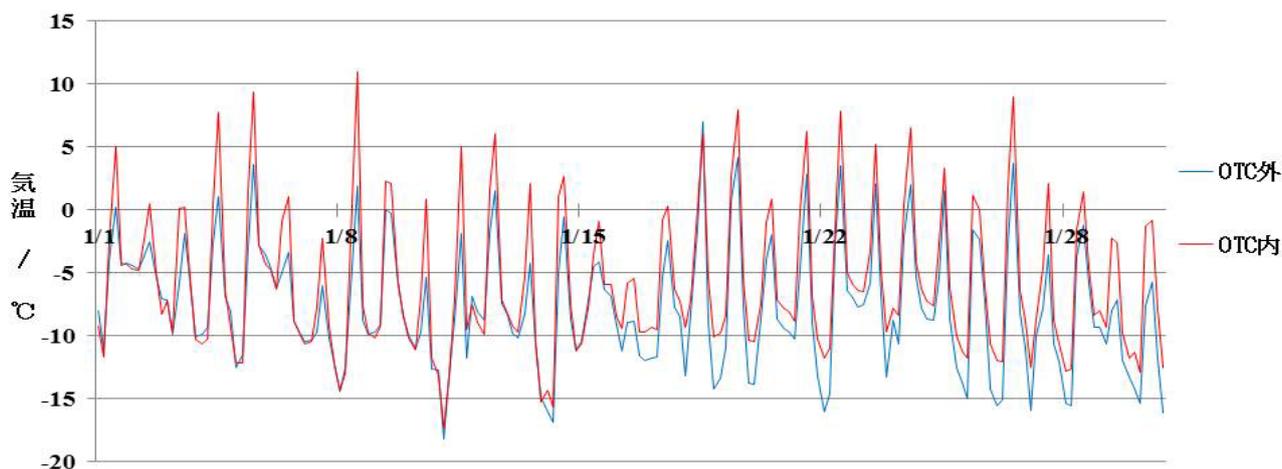


図 16. ススキ草原 OTC 内と OTC 外の気温 (2011 年 1 月 1 日～31 日、高さ 100 cm)

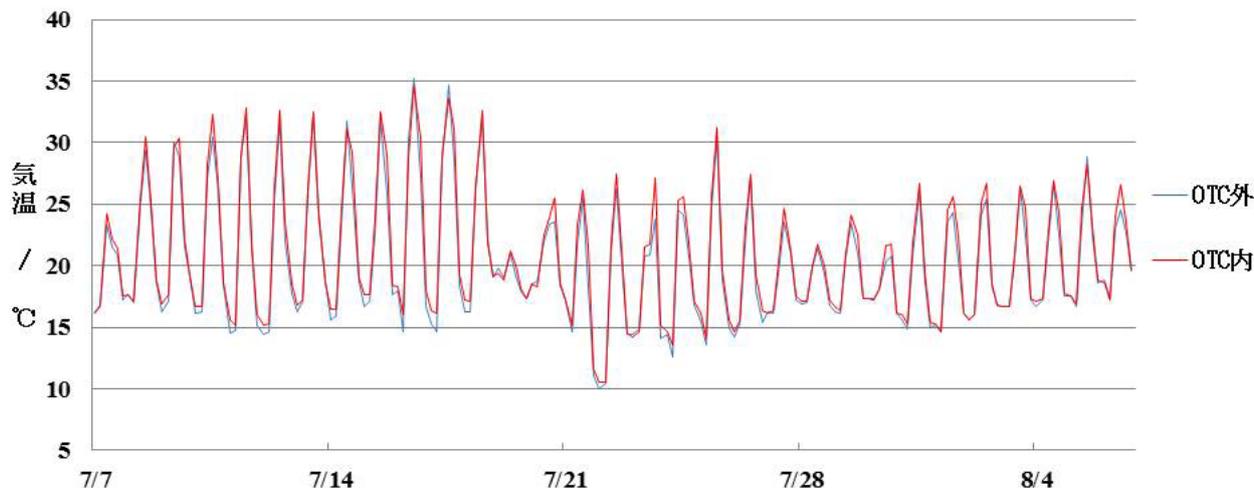


図 17. ススキ草原 OTC 内と OTC 外の気温 (2011 年 7 月 7 日～8 月 6 日、高さ 100 cm)

## 7. まとめ

OTC の支柱の幅は約 3 cm でそれほど雪の影響を受けるとは考えていなかった。しかし、実際には多くの OTC が雪圧の影響を受け、OTC が斜面下側にずれていた。上部が著しく破損していた OTC があったことについては、周囲の樹上より相当な重さの雪塊が落下したことが原因だと推測した。そのため OTC の上部に張り出している一部の枝を落とさざるを得なかった。波板が雪圧で破損するような被害はなかったが、積雪による OTC フレームの沈下があった。このことはまったく予想していなかった。アンカーを使用していない支柱の沈下が、アンカーを使用している支柱の沈下よりも大きかったことが、OTC が歪む一番の原因となっていた。

雪圧による被害は来年以降も考えられる。被害を最小限に抑える方法を検討しなければならない。また一度曲がってしまった支柱を修復することは非常に困難であり、支柱が大きく曲がった OTC に関してどのように復旧させるかも課題の一つである。2012 年も、雪解けの頃にメンテナンスのために実験地に向かう予定であるが、西駒山荘は 6 月末まで開業しないため、その中でどのように作業を行うのかも大

きな課題である。OTC を用いた実験が進行することが大切であるが、今年度は温度ロガーの多くで欠測という事態が起きた。今後は、講じた対策が有効に機能することを期待したい。

菅平高原実験センター内の OTC に関しては、フックボルトが数個脱落した以外、問題は発生していない。センター内の OTC は、西駒演習林の OTC を設置した後で設置したこともあり、また設置場所が緩斜面で障害物もほとんどない環境のため、しっかりとものを設置することができた。そのため張り綱等もバランスよくつけることができた。

これはメンテナンスフリーに近い温暖化実験装置の開発に成功したといえる。実験結果が出るのは数年先となるが、良い研究ができることを期待したい。

## 8. 謝辞

本稿をまとめるにあたり、筑波大学菅平高原実験センター田中健太助教に助言をいただきました。信州大学小林元准教授には、作業に必要な様々な便宜を図っていただきました。高橋一太君をはじめ 7 名の信州大学生には、荷物の運搬や設置作業にご協力いただきました。深く感謝いたします。