

森林・草原の温暖化実験装置の温暖化効率と維持管理

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 年から西駒実験地(森林)と菅平実験地(草原)で開始した温暖化実験は、今年で 3 年目を迎えた。装置にはこれまでいくつか改良を行い、温暖化効率の向上に努めてきた。また積雪による破損を経験し、維持管理についても多くを学んだ。

本報告では作業の様子、装置の温暖化効率と安定的な観測方法、維持管理方策について報告する。

キーワード: 温暖化実験、オープントップチャンバー(OTC)、野外操作実験

1. はじめに

2010 年に筑波大学・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う温暖化実験のための温暖化実験装置(105×105×210 cm)を開発・設置した。装置はポリカーボネート製の波板で四方を囲った、天井開放(オープントップチャンバー)方式である(図 1)。装置には一年中波板を取り付けておく通年温暖区用装置(以下: 通年用装置)と積雪期には波板を取り外してしまう夏季温暖区用装置(以下: 夏季用装置)の二種類がある。



図 1. 設置した実験装置(2010 年 9 月)

西駒実験地は中央アルプス将基ノ頭直下にある信州大学農学部附属アルプス圏フィールド科学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にある(図 2)。周辺はオオシラビソ帯とハイマツ帯の間で、樹高 4 m ほどのダケカンバの下には低木等が生える平均斜度 35 度前後の急斜面である。ここに通年用装置 5 基と夏季用装置 5 基の計 10 基を設置した。また、装置の維持管理のため、初夏と秋の年二回実験地を訪れる必

要があった。本年(2012 年)は初夏の作業を 6 月上旬に、秋の作業を 9 月中旬に行った。

菅平実験地は筑波大学菅平高原実験センター内の標高 1350 m のススキ草原にある。夏の草丈は 3 m 以上になる平均斜度 6 度の毎年秋に地上部の刈取りを行う草原である。ここに通年用装置を 5 基設置した。

本年度の西駒実験地での作業の様子、装置の温暖化効率と安定的な観測条件の検討、積雪への対応から学んだ維持管理方策について報告する。

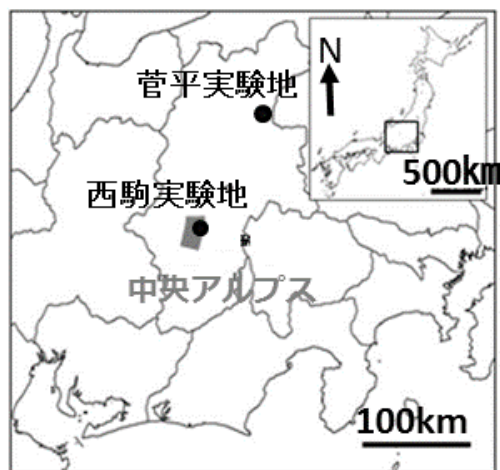


図 2. 実験地の位置

2. 2012 年初夏の作業開始

6 月 4~5 日に初夏の作業を行うため、信大関係者 6 名とセンター教職員 4 名で実験地に向かった。

2011 年初夏の作業は 7 月上旬に行ったが、実験地周辺に雪は全く見当たらない状況であった。本年はかなり早い時期から打ち合わせを行い、昨年より約一か月早めた日程になった。これは田中准教授から夏季用装置は、装置周辺の雪が解けてなくなる前(装置内やその周辺が残雪で覆われている状態)に波板を取り付けたいという要望があったからである。また昨年は 2 名での作業となったが、本年は 10 名で作業を行うことができた。

初夏は 1) 上部が破損している装置の修復、2) 倒壊した装置の再設置、3) 気温データロガー(以下: ロガー)用支柱の交換、4) 夏季用装置の波板装着の 4 つの作業を予定していた。装置の修復に必要な約 40 kg の道具と材料を 10 名の参加者が手分けをして担ぎ上げた。また 6 月上旬は実験地近くにある西駒山荘が休業期間のため、西駒ステーション内にある

シラベ小屋で寝泊まりしなければならなかった。そのため寝袋や食料品などの様々な荷物も担ぎ上げた。

3. 2012年初夏の現地状況と作業結果

装置の状況

2011年の春の状況から雪による被害はそれほど大きくないと考えていたが、本年は違っていた。

○通年用装置(全5基、1基は2011年撤去済)

コドラート No.2(図3)

状況：雪に埋まっていたため、周辺を搜索。雪の中から波板の上端を発見。

対応：何もしない。

コドラート No.6(図4)

状況：ほぼ無傷。全体的なねじれ。

対応：脱落・破損したボルト・ナット・フックボルトを固定した。

コドラート No.9(図5)

状況：ほぼ無傷。

対応：脱落・破損したボルト・ナット・フックボルトを固定した。

コドラート No.14(図6)

状況：ほぼ無傷。

対応：脱落・破損したボルト・ナット・フックボルトを固定した。

コドラート No.16(図7)

状況：2011年に撤去したためなし。

対応：再設置。



図3. コドラート No.2



図4. コドラート No.6



図5. コドラート No.9



図6. コドラート No.14



図7. コドラート No.16

○夏季用装置(全5基)

コドラート No.4(図8)

状況：完全に雪に埋まっていたため周辺を搜索。雪で激しく変形した外枠を発掘。

対応：無理やり波板装着。

コドラート No.7(図9)

状況：下部を雪の中から発掘。前年より歪む。

対応：無理やり波板装着。

コドラート No.8(図10)

状況：ほぼ無傷。周辺に雪なし。

対応：波板装着。

コドラート No.12(図 11)

状況：下部を雪の中から発掘。下部に大きな変形。
対応：波板取り付け。

コドラート No.13(図 12)

状況：下半分を雪の中から発掘。他の装置と比較
すると被害は少なめ。
対応：波板取り付け。



図 8. コドラート No.4



図 9. コドラート No.7

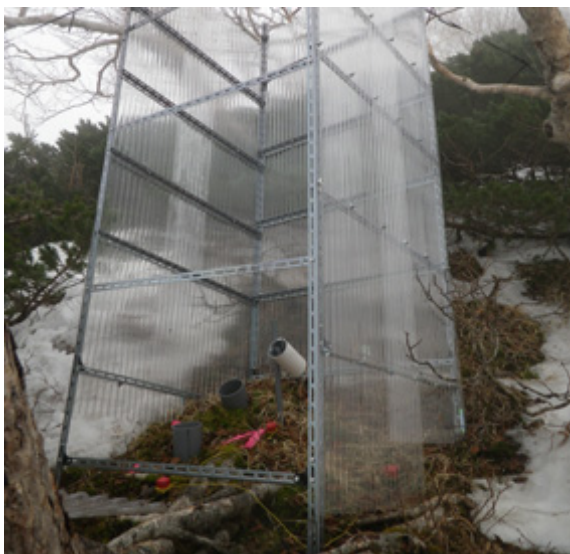


図 10. コドラート No.8



図 11. コドラート No.12



図 12. コドラート No.13

無傷の装置もいくつかはあったが、多くの装置の支柱が異様に変形していた。本年は作業時期を早くしたため残雪が多く、装置内に雪がない場所から、雪に埋まっていて姿の確認ができない装置まであり、想像以上の雪の量に驚いた。

初日の実験地到着時の温暖化実験装置全 9 基の状態は、全体を確認することのできた装置が 4 基、下部が雪で埋まっている装置が 3 基、雪に埋まっていて確認できない装置が 2 基であった。

作業状況

1)上部が破損している装置の修復

コドラート No.2 は完全に雪に埋まっていたため未修復。コドラート No.4 は完全に雪に埋まっていたが、周囲を除雪し、外枠の修復は行わず、波板を装着した。

2)倒壊した装置の再設置

コドラート No.16 は、設置予定地周辺の残雪がほとんどなかったため、荷揚げした部品を使用し、再設置した。

3)ロガー用支柱の交換

多くのコドラートに残雪があり、交換を行えた場所は半分以下だった。

4)夏季装置の波板装着

コドラート No.8 と No.13 は、問題なく装着できた。コドラート No.4 と No.7 と No.12 は

雪で支柱が異様に曲がっていたが、その曲りに沿って無理やり装着した。

実験地周辺には想像以上の残雪があり、予定通りに作業を進めることができなかった。2 m 以上ある装置が完全に雪に埋まり、コドラートの場所すら分からないほど雪が残っているとは考えていなかった。雪による支柱の変形は前年以上で、コドラートの場所や装置の向きによって曲り方が違い、積雪によって生じる力が一定でないことが分かった。また人力で曲げるのでできない支柱が異様に曲がっている(図 13)ことを考えると、雪の力は計り知れない。梁や張り綱を追加したところで雪の前では無力だと考える。



図 13. コドラート No.4 の歪み

実験地一面が雪原となり、障害物はほとんど見当たらないため見晴らしは良いが、すべての行動に滑落の危険が伴うため慎重に行動しなければならず、集中力や注意力が必要だった。さらに寒暖の差が大きく体力の消耗も大きかった。

積雪により一部の作業を行うことができなかったため、予定より早く作業を終了することになった。残った作業は秋に行うことにした。

4. 2012 年秋の作業開始

9 月 18~20 日に 1)6 月の残りの作業、2)夏季用装置の波板の取り外し、3)調査補助、を行うため実験地に向かった。参加者は信大関係者 9 名と筑波大関係者 6 名の計 15 名となった。この中には今回から新たに加わった研究者もいた。

前年は 9 月下旬に植生調査と同時に行った。しかし、この頃の実験地周辺は最低気温が氷点下となり、一部の植物は判別が困難になる。そのため本年は作業時期を早め、9 月中旬にした。

今までの経過から雪の生み出す力は強大であることが判明していた。装置の梁や張り綱を増やす補強作業と材料の運搬などの労力や費用を考えると補強作業は得策ではないため、今回は波板の交換等の簡単な修復だけ行うことにした。荷揚げした部品は波板が 20 枚で、支柱や梁用のアングルは荷揚げしなかった。

5. 2012 年秋の現地状況と作業結果

装置の状況

○通年用装置(全 5 基)

雪で埋まっていたコドラート No.2 は全体に激しく歪んでいた。2013 年度の建て替えを検討し、今回は波板を 2 枚交換した。他の装置は大きな破損もなく、ボルトとフックボルトを締め直した。

○夏季用装置(全 5 基)

すべての装置で波板を取り外した。激しく歪んでいるコドラート No.4(図 14)は、2013 年度に建て替えを行いたい。



図 14. 一番歪みの激しい装置

雪に埋まっていた装置(コドラート No.2)の歪みは 2011 年より大きくなっていった。上部の破損状態はそれほど変わっていなかったため、2011 年に行った枝落としは効果があったと思われる。2012 年初夏に大きな歪みが判明したコドラート No.4 とコドラート No.2 は 2013 年の作業で建て替えを検討している。装置は建て替えの際に梁の数を減らし、簡略化することを検討している。

すべての装置で年々歪みが大きくなっているため、全体的な補修を検討する必要がある。

作業状況

1)6 月の残りの作業

装置の修復は積雪前に行っても無意味なため、2013 年春に延期した。

ローラー用支柱の交換は支柱の数を間違えていたため作業を完了することができなかった。

2)夏季用装置の波板の取り外し

5 基すべてで終了。

3)調査補助

5 個のコドラートを新設。また新設したコドラートの植生調査補助を行った。

2011 年より 1 週間早く作業を行ったため、気温も暖かく作業自体は順調に進めることができた。作業 2 日目は朝から雨だったが、気温がそれほど下がらず作業を行うことができた。材料不足のため一部終えることのできなかった作業もあったが、その他の作業については終了した。調査補助は予定以上に行うことができた。

6. 装置の温暖化効果

○菅平実験地

ススキ草原で行われている温暖化実験では重要なデータを積み重ねることができている。これはほぼ同一な環境に温暖化区と対照区を設置してあるためである。

温暖化効果は日照に大きな影響を受ける。やはり太陽の光は何よりも影響力が大きく、日差しがあると波板が温められるため温暖化効果が高く、日差しがないと効果は低い。そのため天候に左右されやすい。同様にススキ草原では夏場の草丈は 3 m 以上になるため、装置の下部は日当たりが悪くなり効果は低くなる。その他にも季節や装置内のロガーの高さなどにも影響を受けることが分かっている。

気温は一定の高さで観測するため、例えば地上 30 cm の高さに設置してあると菅平高原では積雪でロガーが雪に埋まってしまう。その場合、ロガーは雪の中で外気温の影響をあまり受けず、温度変化がほとんど起こらない。そのためそのロガーが雪に埋まっていることが分かる。同様に気温の変動が大きくなると周辺の雪が融け、ロガーが雪から出た事が分かる。また、ススキ草原ではこれまでの観測から対照区よりも温暖化区の方が雪解けが早く進むことが分かっている。

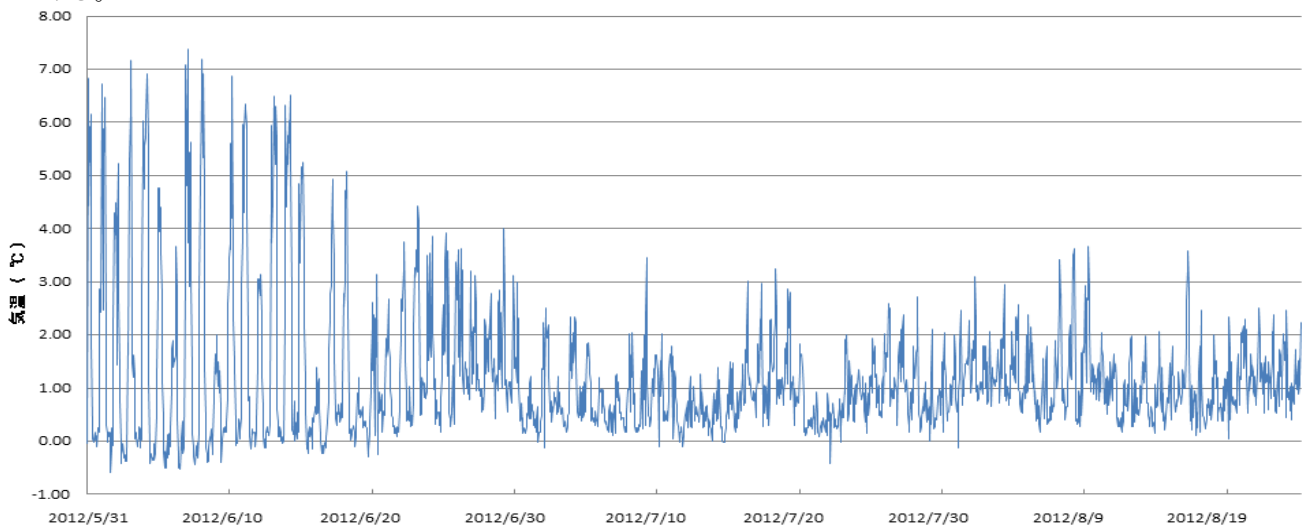


図 15. 菅平実験地の気温 1 (2012 年 5 月 31 日～8 月 24 日 高さ 1 m)
注)対照区 4 ヶ所の平均気温に対する温暖化区 5 ヶ所の平均気温の偏差

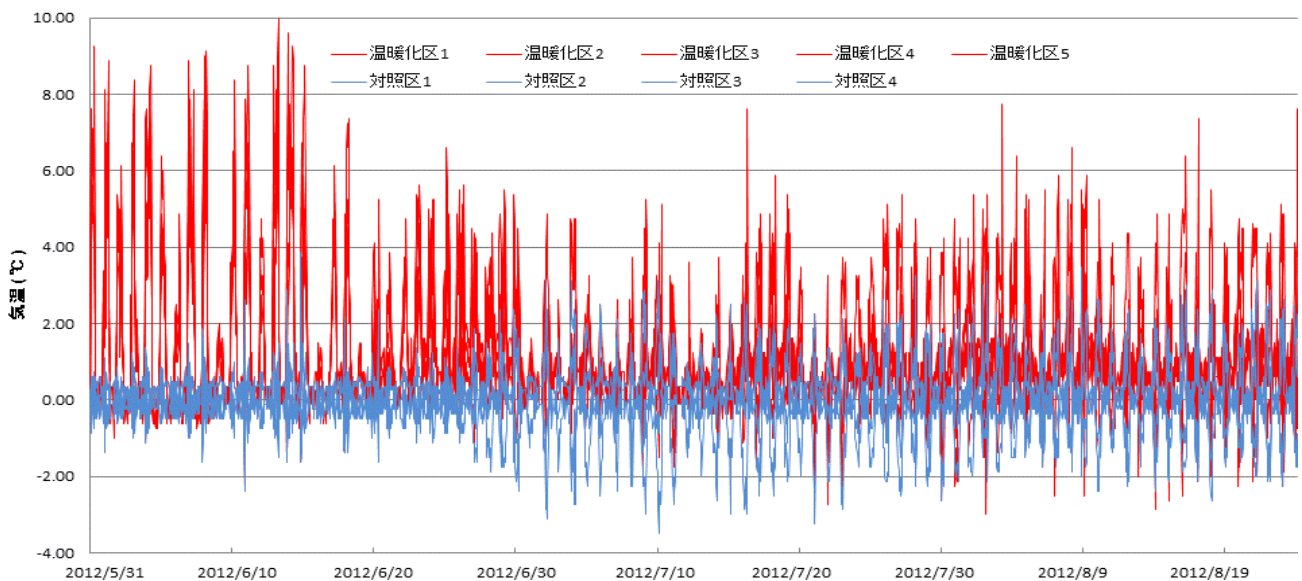


図 16. 菅平実験地の気温 2 (2012 年 5 月 31 日～8 月 31 日 高さ 1 m)
注)対照区 4 ヶ所の平均気温に対する対照区 4 ヶ所と温暖化区 5 ヶ所それぞれの気温の偏差
対照区は全て青線、温暖化区は全て赤線で示した。

図 15 は菅平実験地の 2012 年 5 月 31 日から 8 月 24 日の気温で、4 ヶ所の対照区の平均気温と 5 ヶ所の温暖化区の平均気温の偏差である。6 月上旬は草丈も低いいため日差しの影響で温暖化効果が大きく表れている。7 月になり、ロガーが草に隠れるようになると日差しの影響が穏やかになり、温暖化効果の変動も少なくなっている。

図 16 は図 15 と同じ偏差のグラフになるが、これは対照区 4 ヶ所の平均気温に対する対照区 4 ヶ所、温暖化区 5 ヶ所の気温の偏差である。対照区より温暖化区の方が気温の変動は大きい、温暖化効果が高いことが分かる。

○西駒実験地

2011 年度にロガーフードを改良した効果があり、半分以上のロガーが観測を継続することができた。本年はさらにロガーを取り付けていた鋼鉄製アングルを塩ビパイプに変更し、ロガーとアングルを結んでいた針金を綿糸に交換した。これは落雷によるロガーの故障の可能性を軽減させるためである。

表 1. 雪解け日(西駒温暖化実験地 2012 年)

プロット番号(処理)	2012年
通年温暖区1	6/1
通年温暖区2	5/29
夏季温暖区1	6/4
対照区1	6/15
対照区2	6/2

表 1 は 2012 年の雪解け日である。前述したように気温データからそのロガーが雪中にあるか、表出しているかが分かる。この表では高さ 30 cm に取り付けられたロガーが表出した日を雪解け日とした。30 cm の高さには計 7 個のロガーを取り付けたが、1 個は故障、1 個は積雪状況が他の処理区と大きく違い比較が困難なため除外した。センターススキ草原では、温暖化区が対照区より先に雪解けしていることが確認されている。それと同様に西駒実験地でも温暖化区の雪解けが早いことが分かる。これは装置の温暖化効果があることを表している。ただし、西駒実験地ではコドラートの位置によって積雪状況が大きく異なるため温暖化区の方で雪解けが遅い場合もある。

7. 今後の維持管理方策

二度の冬を経験した結果、判明したことがある。それは雪の力は計り知れないということである。開発・設計時には雪の力はそれほどでもないと考えていた。2011 年の春の時点では大きな被害がなかった

こともあり、対策が上手くいったと楽観していた。しかし 2012 年の春に目撃したのは想像以上に変形した装置の姿であった。曲がりくねった支柱を見ても、どの程度の力がどの方向から加わったのか見当もつかない。斜面下側に曲がっているだけでなく、斜面上側に曲がっている支柱もあった(図 14)。

どのような力が生じているかは分からないが、強大な力が発生していることだけは分かった。今年の初夏の作業でコドラート No.4 は曲がった支柱に波板を無理やり取り付け付けた。これにより、波板を無理やり取り付け付けた装置でも(破損のない装置には及ばないものの)温暖化効果が期待できることが分かった。

この 2 年間の経験により、雪で生じる強大な力の対策として、労力を割き材料を担ぎ上げ補強を行うより、破損後の修復を行う方が得策であることが分かった。現地での修復作業において、修復方法に頭を悩ませて時間を使うよりも、再建する予定で作業に臨んだ方が適切である。梁の交換程度の簡単な修復は実験地で柔軟に対応し、支柱の修復等に関しては装置を再建する方が適切な処置になる。この実験地で温暖化実験を継続させるためには、出来るだけ労力を抑え、効率よく装置を運用していくことがより良い維持管理方策だと考える。

8. まとめ

装置の維持管理は、この温暖化実験を継続していくために非常に重要な要素の一つである。実験地までのアクセスが悪いため、修復の材料や設置道具を運搬するのも苦労が多い。また材料や道具は重く、嵩張るものが多いため簡単に準備することができない。現地にストックできる物品にも限りがあるため、出来るだけ手間をかけずに末永く実験を継続させていくためには、作業の簡略化は重要な改良点である。

来年度はこの作業で利用していた西駒山荘が建て替えのため使用できないという大きな問題が待ち構えている。この問題には明確な答えは出ていないが、また一つ大きな経験ができるという予感がある。

9. 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・田中健太准教授に助言をいただきました。草原の温暖化実験の温度データは筑波大学菅平高原実験センター・鈴木亮特任助教に提供していただきました。信州大学農学部附属アルプス圏フィールド科学教育研究センター小林元准教授には、森林の温暖化実験の温度データを提供していただき、現地での作業に必要な様々な便宜を図っていただきました。船木昇君をはじめ 6 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。

Warming efficiency and maintenance of forest/grassland warming experiment equipment

Kanai Ryuji, Masaki Daisuke
Technical Service Office for Life and Environmental Sciences
(Sugadaira Montane Research Center)
University of Tsukuba, 1278-294 Sugadaira-Kogen, Ueda, Nagano, 386-2204 Japan

Keywords: Warming experiment, open top chamber, outdoor operation experiment