

# 高山帯風衝斜面における オープントップチャンバー内の風速の観測

浜田 崇<sup>1</sup>・尾関雅章<sup>2</sup>・飯島慈裕<sup>3</sup>・水野一晴<sup>4</sup>

木曾山脈木曾駒ヶ岳南東側の風衝斜面において、オープントップチャンバー（OTC）を用いた高山植物に対する野外温暖化実験を行っている。OTC 設置による OTC 内の風速への影響を把握するため、OTC とその対照区（CTRL）において、地上 10cm から 50cm までの高度別の風速の同時観測を行った。その結果、OTC 内（10cm～30cm）の風速は CTRL に比べて小さく、それらの約 20% しかなかった。日本の高山帯では、OTC 内の環境は自然状態と比べて温度が上昇するだけでなく風速の低減効果も大きく、これが OTC 内の植物に影響を及ぼしている可能性が考えられた。

キーワード：オープントップチャンバー，風速，高山帯，風衝斜面

## 1. はじめに

高山生態系は地球温暖化などの気候変動に対して脆弱な生態系と言われている。すでにヨーロッパアルプスなどでは、高山植物（植生）に対する温暖化影響が顕在化し始めている事例もみられる<sup>1)~3)</sup>。しかし、地球温暖化のような長期的な気温上昇による影響評価を行うためには、過去から長期間にわたる高山生態系に関する一様なデータが必要であり、こうしたデータには限りがある。そこで、野外で人工的に温暖化を起こす操作実験を行うことによって、高山生態系がどのように応答するのかを調べることも影響評価の有用な方法の一つとなる。

野外での温暖化実験には、赤外線ヒーターなどの熱源を用いる能動的な方法と、温室のように熱源を利用せずに暖める受動的な方法がある<sup>4),5)</sup>。このうち高山帯などの山岳域や極域では、電源供給や熱源の恒常的な管理が難しいため受動的な温暖化実験が用いられることが多く<sup>6)</sup>、中でもオープントップチャンバー（以後、OTC とする）を用いた実験の報告は多い<sup>7)</sup>。OTC には様々なタイプのものであり、その形状や大きさ、使用する材質などによって違いがあるものの、基本的な構造は日射が透過する透明な材質で作られた囲いで、その天井部分は雨をさそ

らないよう開いたチャンバーである<sup>8)</sup>。また主な OTC の形状は六角形や円錐形などである。

OTC を設置することにより、チャンバー内では気温が上昇し、それによって植物のフェノロジーや成長などへ影響が及ぶ<sup>9),10)</sup>。また、チャンバー内では温度以外の環境も変化することが考えられる。特に日本の高山帯のように風の強い環境下においては、OTC の設置効果は気温の上昇だけでなく、風を遮ることで OTC 内の風速を弱める効果も指摘されている<sup>6),11)</sup>。しかし、OTC の設置による風速への影響については定量的にほとんど明らかになっていない。そこで本研究では OTC 内の風速を観測し、対照区の風速と比較を行ったので、その結果について報告する。

## 2. 観測

### 2.1 調査地域の概要

観測は木曾山脈木曾駒ヶ岳南東斜面の風衝地において行った（35° 47' 22" ， 137° 48' 30" ， 標高 2850m）（図 1）。ここでは 1995 年から、OTC を用いた高山植物への温暖化実験が実施されている<sup>12)</sup>。使用した OTC の構造は無色透明の亚克力板で作られた五角形のタイプで、底面の直径が約 75cm、

1 長野県環境保全研究所 自然環境部 〒381-0075 長野市北郷 2054-120

2 長野県環境保全研究所 自然環境部 〒381-0075 長野市北郷 2054-120  
（現：長野県環境部自然保護課 〒380-8570 長野市南長野幅下 692-2）

3 海洋研究開発機構 地球環境変動領域 〒237-0061 横須賀市夏島町 2-15

4 京都大学大学院 アジア・アフリカ地域研究研究科 〒606-8501 京都市左京区吉田下阿達町 4

開放面の直径が 45cm, 高さ 30cm である。

OTC 設置箇所周辺は, 植被階状土が発達しており, 高山風衝草原植生とハイマツ *Pinus pumila* 低木林が分布している. OTC 内の植生は, 主に常緑矮性低木のガンコウラン *Empetrum nigrum var. japonicum*, 落葉矮性低木のクロマメノキ *Vaccinium uliginosum var. japonicum*, ウラシマツツジ *Arctous alpinus var. japonicus*, 多年生草本のヌイオスゲ *Carex vanheurckii* からなっている. OTC の設置によって, OTC 内の地表面温度や地温は対照区とくら

べ高くなり<sup>12)</sup>, その結果, OTC 内では矮生低木のガンコウラン, ヒメクロマメノキ *Vaccinium uliginosum var. alpinum*, ウラシマツツジといった被度が増加している<sup>13)</sup>ほか, これら矮生低木の垂直方向の伸長により群落高が対照区の 2 倍程度に増加する植生変化が生じている<sup>14)</sup>.

既に設置されている OTC 内には上述のとおり高山植物が繁茂し群落高も増加しているため, OTC 設置による風速の影響のみを測定することが難しい. そこで, 今回は風速観測用に同じ大きさ, 形状, 材質からなる OTC1 基を既設の OTC のそばに臨時に設置した. またこの OTC との比較を行うための対照区 (以下, CTRL) の観測場所を, 臨時 OTC の北側約 3m 離れた箇所に設けた. 両地点とも地表面の傾斜はほぼ平坦であり, 観測場所を含む周囲の表面の凹凸ができるだけ小さい場所を選定した. なお, 臨時 OTC 内には植生はなく, CTRL にはガンコウランなどの植物が地表面を覆っている.

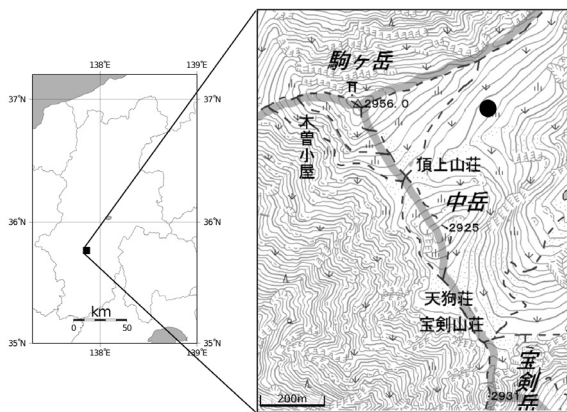


図 1 調査地域

黒丸が観測地点. この背景地図等データは, 国土地理院の電子国土 Web システムから提供されたものである.

## 2.2 観測方法

風速観測は OTC 内と CTRL において同高度で同時に行った. 観測の様子を図 2 に示す. 観測には無指向性の熱線風速計 (株式会社アイ電子技研: V-01-AND2H) を用い, 地上から 10cm, 20cm, 30cm,



図 2 風速観測の様子 左が OTC, 右が CTRL.

40cm, 50cm の高度において 30 分間ずつ観測を行った (10cm と 20cm のみ 2 回実施). OTC における風速の測定場所はチャンバーのほぼ中央とした. サンプルングおよび記録間隔は 1 秒とし, 出力された電圧をデータロガー (T&D 社: VR-71) に記録し, それに係数を乗じて風速に変換した. 観測実施日は 2012 年 9 月 12 日である.

また, 本調査地近くの地上約 1m には風向風速計 (Vaisala 社: WXT520) が設置されており, このデータも調査地における環境場の状況を把握するために利用した. このデータは 10 分間の平均値が 30 分毎に記録されている.

なお, 観測に用いた OTC の高さは約 30cm である. したがって, 風速計の高度が 10cm から 30cm は OTC 内での観測値, 40cm および 50cm は OTC 直上の値を示す.

### 3. 結果および考察

観測日における天気は前日に通過した前線と気圧の谷の影響でくもりだった. 調査地における風向風速の概況を調査地近くに設置されている風向風速計のデータよりみると (図 3), 風速は 10:30 頃まで

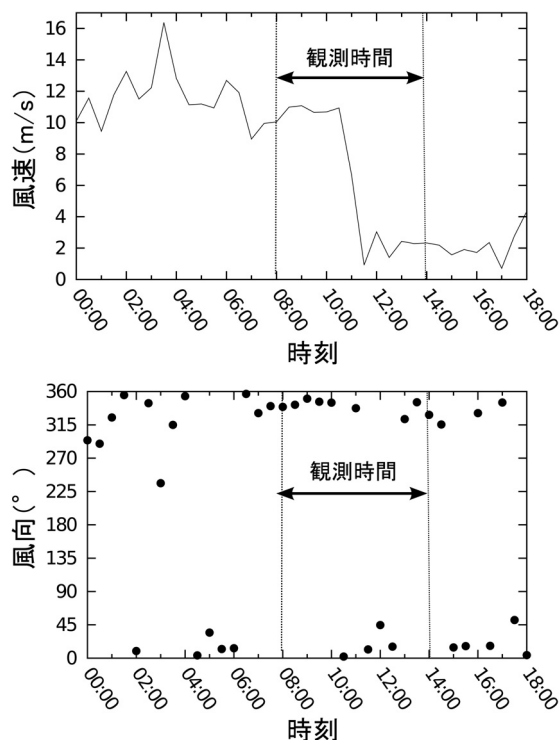


図 3 観測時間中の風向風速の時間変化  
上が風速, 下が風向.

10m/s 程度, それ以降は 3m/s 程度に減少していた. 風向はおおむね北よりの風で, 風速が大きく変化した 10:30 を境に北北西から北北東への変化がみられた.

次に OTC と CTRL における観測時間中の風速の変動を地上高度別に図 4 に示した (10cm および 20cm の 2 回目の観測結果は省略). また, それぞれの平均風速および分散を表 1 に示した. 観測時間中の各高度の風速は以下の通りだった. 地上 10cm では, CTRL の風速が 9:15~9:45 の間に約 1~3m/s, 12:30~13:00 の間には 0.5~2.5m/s 程度であったのに対し, OTC 内ではそれぞれ 0.3~0.6m/s 程度と 0.1~0.3m/s 程度であった. また, 地上 20cm では CTRL の風速が 8:00~8:30 の間に 1~4m/s 程度, 13:30~14:00 の間に 0.5~2.5m/s 程度であったのに対し, OTC 内ではそれぞれ 0.2~0.4m/s 程度と 0.1~0.3m/s 程度であった. 地上 30cm では CTRL が 1~3.5m/s 程度であったのに対し, OTC 内では 0.2~0.8m/s 程度であった. 地上 40cm では CTRL が 0.5~3m/s 程度であったのに対し, OTC 直上では 0.5~2m/s 程度であった. 地上 50cm では CTRL が 1~3m/s 程度であったのに対し, OTC 直上では 0.5~1.5m/s 程度であった.

また, 表 1 には各高度の観測時間内における平均風速と CTRL に対する OTC の風速比も示した. OTC 内 (10cm~30cm) の風速は CTRL とくらべると小さく, OTC を設置しなかった場合の 13~20% 程度であることが明らかとなった. OTC 直上においても, OTC を設置しなかった場合の 60% 程度であったが, この値には観測タイミング等の偶発的要因の関与も考えられ, 今後さらに検討が必要である.

一方, Cunningham らは, Large-Eddy シミュレーションを用いた OTC 内外の風速計算を行った<sup>15)</sup>. 計算に用いられた OTC は円柱形で直径が 12m もあり, 本観測で使用した OTC とは大きさも形状も異なる. しかし, シミュレーションでは OTC の直径に対する壁の高さの比が, 本研究で用いた OTC の比 (高さ/直径が約 1/2) に近くなるほど OTC 内に風速の小さな領域が形成されること, また OTC の中央部直上でも風速がやや弱まること示されており, 本研究で得られた OTC 内での風速観測値の傾向と似ている.

では, OTC 内の風が弱まることで, 植物にどのような影響が及ぶだろうか. 植物は強風にさらされることでそのサイズを大きくすることができないと言われている<sup>16)</sup>. また, Fukuyo らは, 本調査地域に

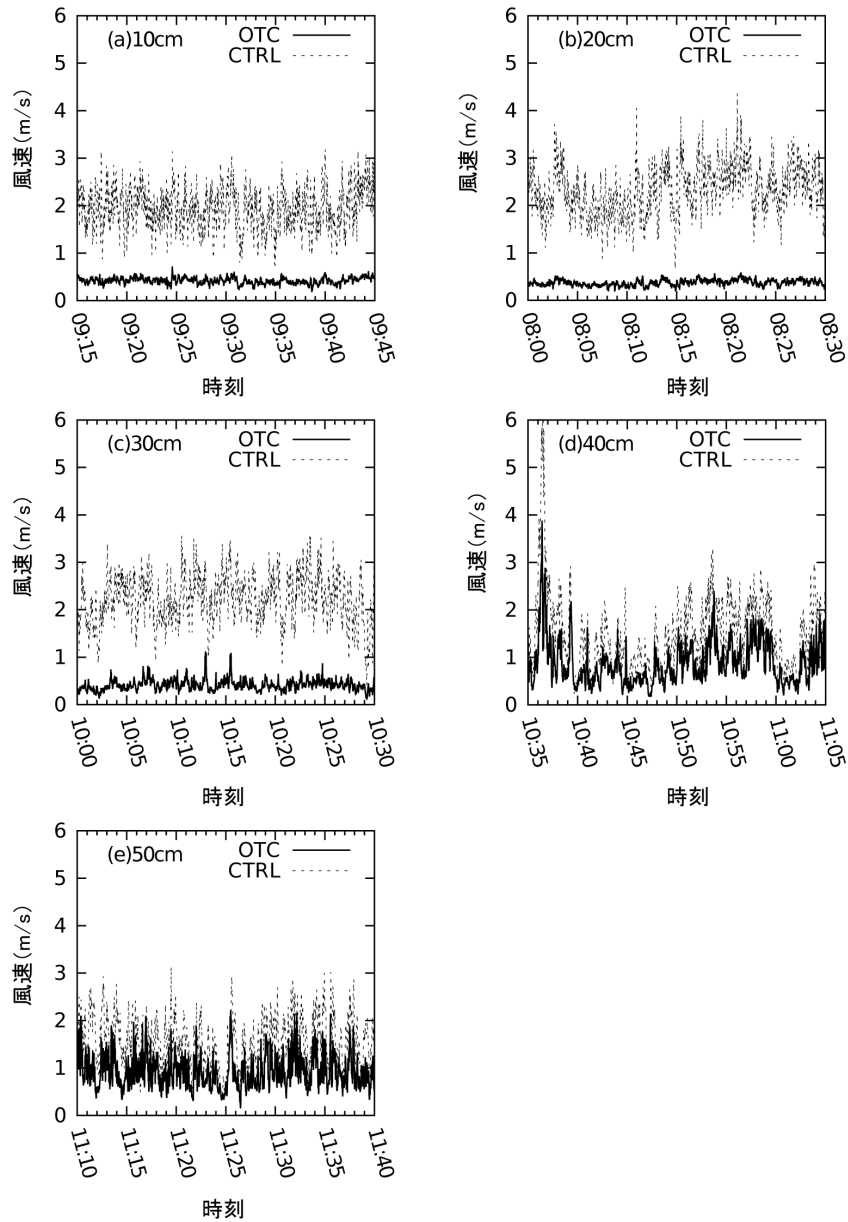


図4 各高度における OTC と CTRL の風速の変化

表1 OTC と CTRL の高度毎の平均風速，分散および風速比 (OTC/CTRL)

観測高度		10cm	20cm	30cm	40cm	50cm
観測時間		9:15-9:45	8:00-8:30	10:00-10:30	10:35-11:05	11:10-11:40
(2回目)		(12:30-13:00)	(13:30-14:00)			
OTC	平均風速 (m/s)	0.42	0.37	0.41	0.88	0.93
		(0.25)	(0.19)			
CTRL	平均風速 (m/s)	1.94	2.33	2.22	1.52	1.60
		(1.46)	(1.42)			
風速比	分散	0.00	0.00	0.01	0.21	0.12
		(0.00)	(0.00)			
風速比	分散	0.19	0.28	0.27	0.63	0.25
		(0.21)	(0.27)			
風速比	(OTC/CTRL) (%)	21.60	16.00	18.60	57.90	58.10
		(17.00)	(13.40)			

において卓越風向側にのみ風を遮るための透明なアクリル板を設置したところ、風を遮蔽したことによる温度への影響はほとんどなかったにもかかわらず、ミネズオウやクロマメノキなどのフェノロジーが変化することを明らかにした<sup>11)</sup>。したがって、本調査地のような風の強い環境においては、OTC内でガンコウランなどの群落高が増加している<sup>14)</sup>ことは、OTC内で風が弱いことと関係している可能性も考えられる。

また、OTC内での風速の低下は、OTC内で熱や水蒸気の拡散が抑制されるなどOTC内部でのエネルギー収支の変化をもたらすため<sup>17)</sup>、こうした複合的な効果によりOTC内の温度が上昇し植物フェノロジーや成長の変化をもたらす可能性もある。

以上のように、風の直接的あるいは間接的な効果が、OTC内の植物の成長やフェノロジーに影響しているものと推測される。したがって、OTCを用いた温暖化影響の評価を行うためには、OTC内における環境の物理的な変化のメカニズムを解明するとともに、その変化に対する植物の応答について生理的なアプローチにより明らかにする必要がある。

## 謝 辞

本研究の一部は、環境省環境研究総合推進費 S-8 (温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究) の支援により実施された。

## 文 献

- 1) Pauli, H., Gottfried, M. and Grabherr, G. (2003) Effects of climate change on the alpine and nival vegetation of the Alps. *Journal of Mountain Ecology* 7:9-12.
- 2) Theurillat, J. P. and Guisan, A. (2001) Potential impact of climate change on vegetation in the European Alps: a review. *Climatic Change* 50: 77-109.
- 3) Studer, S., Appenzeller, C. and Defila, C. (2005) Inter-annual variability and decadal trends in alpine spring phenology: a multivariate analysis approach. *Climatic Change* 73: 395-414.
- 4) 中村誠宏・奥田篤志・日浦 勉 (2008) 地球温暖化研究における野外操作実験の現状と課題. *保全生態学研究* 13 : 111-120.
- 5) Aronson, E. L. and McNulty, S. G. (2009) Appropriate experimental ecosystem warming methods by ecosystem, objective, and practicality. *Agricultural and Forest Meteorology* 149: 1791- 1799.
- 6) 田中健太・平尾 章・鈴木 亮・飯島慈裕・浜田 崇・尾関雅章・廣田 充 (2013) 地球温暖化が山学域と極域の生態系に与える影響-人工温暖化実験によって何がわかってきたか?-. *地学雑誌* 122 : 628-637.
- 7) Bokhorst, S., Huiskes, A., Convey, P., Sinclair, B. J., Lebouvier, M., Vijver, B. and Wall, D.H. (2011) Microclimate impacts of passive warming methods in Antarctica: implications for climate change studies. *Polar Biology* 10: 1421-1435.
- 8) Marion, G. M., Henry, G. H. R., Freckman, D. W., Johnstone, J., Jones, G., Jones, M. H., L'vesque, E., Molau, U., Mo lgaard, P., Parsons, A. N., Svoboda, J. and Virginia, R. A. (1997) Open-top designs for manipulating field temperature in high-latitude ecosystems. *Global Change Biology* 3 (Suppl.1) : 20-32.
- 9) Henry, G. H. R. and Molau, U. (1997) Tundra plants and climate change: the International Tundra Experiment (ITEX). *Global Change Biology* 3 (Suppl.1) : 1-9.
- 10) Suzuki, S. and Kudo, G. (1997) Short-term effects of simulated environmental change on phenology, leaf traits, and shoot growth of alpine plants on a temperate mountain, northern Japan. *Global Change Biology* 3 (Suppl.1) :108-115.
- 11) Fukuyo, S., Kurihara, M., Nakashinden, I., Kimura, K., Iijima, Y., Kobayashi, Y., Masuzawa, T., Yamamoto, S., Morimoto, M., Kouyama, T., Kobayashi, S., Yamamoto, T., Mizuno, K. and Machida, H. (1998) Short-term effects of wind shield on phenology and growth of alpine plants in mount Kiso-Komagatake, Central Japan. *Proc. NIPR Symp. Polar Biology* 11:147-158.
- 12) Nakashinden, I., Masuzawa, T., Fukuyo, S., Kimura, K., Yamamoto, S., Iijima, Y., Mizuno, K., Kobayashi, S., Yamamoto, T., Machida, H.

- and Takaoka, S. (1997) A preliminary report on phenological monitoring using experimental chambers in Mt. Kisokomagatake. Proc. NIPR Symp. Polar Biology 10: 196-204.
- 13) 財城真寿美・塚田友二・福興 聡・GENET(2003) 温暖化実験で生じた高山植物分布の変化-中央アルプス木曾駒ヶ岳を例として-. GIS-理論と応用 11 : 23-31.
- 14) 尾関雅章・浜田 崇・飯島滋裕・水野一晴・宮原育子 (2011) 木曾駒ヶ岳高山風衝地におけるオープントップチャンバー内の植生変化. 第 58 回日本生態学会大会要旨集 : P2-032.
- 15) Cunningham, P., Linn, R. R., Koo, E. and Wilson, C. J. (2013) Large-eddy simulations of air flow and turbulence within and around low-aspect-ratio cylindrical open-top chambers. Journal of Applied Meteorology and Climatology 52: 1716-1737.
- 16) Whitehead, F. H. (1962) Experimental studies of the effect of wind on plant growth and anatomy II. HELIANTHUS ANNUUS. New Phytologist 61: 59-62.
- 17) De Boeck, H. J., De Groote, T. and Nijs, I.(2012) Leaf temperatures in glasshouses and open-top chambers. New Phytologist 194: 1155-1164.

### Measurements of wind speed in open-top chamber at wind-swept slope on alpine mountain

Takashi HAMADA<sup>1</sup>, Masaaki OZEKI<sup>2</sup>, Yoshihiro IJIMA<sup>3</sup> and Kazuharu MIZUNO<sup>4</sup>

- 1 Nagano Environmental Conservation Research Institute, Natural Environment Division, 2054-120 Kitago, Nagano 381-0075, Japan
- 2 Nagano Environmental Conservation Research Institute, Natural Environment Division, 2054-120 Kitago, Nagano 381-0075, Japan  
(Present: Nagano Prefecture, Environment Department, Nature Conservation Division, 692-2 Habashita, Minami-Nagano, Nagano 380-8570, Japan)
- 3 Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Research Institute for Global Change, 2-15 Natsushimacho, Yokosuka 237-0061, Japan
- 4 Graduate School of Asian and African Area Studies, Kyoto University, 46 Shimoadachicho, Yoshida Sakyō-ku, Kyoto 606-8501, Japan