

グリーンインフラとしての平地林による防災機能 －災害現場で確認された農業気象災害軽減事例－

横山 仁^{*1}・鈴木 真一^{*2}・飯塚 聡^{*1}・内山庄一郎^{*3}・岩波 越^{*1}・村上 暁信^{*4}

Disaster-Prevention Function of Lowland Forests as Green Infrastructure － Examples of confirmed agro-meteorological disaster mitigation －

Hitoshi YOKOYAMA^{*1}, Shin-ichi SUZUKI^{*2}, Satoshi IIZUKA^{*1}, Shoichiro UCHIYAMA^{*3},
Koyuru IWANAMI^{*1}, and Akinobu MURAKAMI^{*4}

^{*1} Storm, Flood and Landslide Research Division,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, Japan
yokoyama-h@bosai.go.jp

^{*2} Graduate School of Science, Tohoku University

^{*3} Multi-hazard Risk Assessment Research Division,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, Japan

^{*4} University of Tsukuba

Abstract

We examined the effectiveness and potential of lowland forests for use as green infrastructure by analyzing cases in which lowland forests mitigated agro-meteorological disasters due to hail, a possible tornado, and typhoons in recent years. It was considered that the reduction in hail damage could be attributed to the capture of hailstones by vegetation and reduction in the collision energy of hailstones due to attenuation of wind speeds. Tornadoes are highly localized and unpredictable phenomena; however, it was considered that damage attributed to a possible tornado may have been mitigated by the wind-reducing effect of lowland forest. In the case of Typhoon Trami (T1824), lowland forests attenuated wind speeds to 54%. In the case of Typhoon Faxai (T1915), it was considered that damage was minimal because lowland forest reduced wind speeds to levels that could be withstood by pipe-framed greenhouses. Farmers reported that lowland forests reduce crop vitality to create shade, but also pointed out that summers are shaded and cool. Research on the function and management of lowland forests, which are valuable green infrastructures, is desired in the future.

Key words: Lowland forest, Agro-meteorological disasters, Wind mitigation, Green infrastructure, Maintenance

1. はじめに

近年、令和元年房総半島台風や令和元年東日本台風などさまざまな気象災害が頻発し、各地で甚大な被害が相次いでいる。今後、南海トラフ地震や首都直下地震、さらには、地球温暖化の進行にともなう

激しい気象現象の多発化・激甚化が懸念されることから、防災情報や防災教育等の充実とともに、より一層の安全・安心な街づくり、地域づくりの重要性が増している。そのため、さまざまなインフラの整備、拡充が求められているが、公園や森林等のいわゆる

^{*1} 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部門

^{*2} 国立大学法人 東北大学 大学院理学研究科

^{*3} 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 マルチハザードリスク評価研究部門

^{*4} 国立大学法人 筑波大学 システム情報系

グリーンインフラストラクチャー(以下、グリーンインフラと記す)による防災をはじめとした諸機能にも大きな期待が寄せられ、注目を集めている^{1),2)}。

グリーンインフラは、2015年に閣議決定された国土形成計画において、「社会資本整備や土地利用等のハード・ソフト両面において、自然環境が有する多様な機能(生物の生息の場の提供、良好な景観形成、気温上昇の抑制等)を活用し、持続可能で魅力ある国土づくりや地域づくりを進めるもの」と定義され、2019年に公表された国土交通省の「グリーンインフラ推進戦略」においては、「自然環境が有する多様な機能を活用し、持続可能で魅力ある国土・都市・地域づくりをすすめる取組である」とされている。そうしたなか、2020年8月に日本学術会議が、SDGs(持続可能な開発目標)に対応する形で「気候変動に伴い激甚化する災害に対しグリーンインフラを活用した国土形成により“いのちまち”を創る」と題する提言をまとめたほか、2023年9月には国土交通省が前戦略を全面的に改訂し、新たに「グリーンインフラ推進戦略2023」を策定するなど^{3),4)}、グリーンインフラの活用に向けた動きが高まっている。

ところで、グリーンインフラの主体は、公園や街路樹、調整池など都市部や住宅地に限定されたものばかりではなく、森林や農地のように山間部や農村地域にも多く存在する。そのなかには、六甲山の砂防林や渡良瀬遊水地、信玄堤や霞堤、輪中、命山のように、歴史的なグリーンインフラもあるが⁵⁾、防風林や屋敷林といった主に農村地域にみられる既存の緑地もれっきとしたグリーンインフラである。これらは、研究例も比較的多く(例えば、^{6~11)}、行政や所有者の保全・管理の認識も高い。一方、平地林に関しては、防風林や屋敷林を含める場合もあるものの、そもそも定義や存在意義自体があまり明確ではなく、研究例も少ない¹²⁾。慢性的な財政悪化のなか、今後さらなる気象災害の多発化・激甚化が懸念される状況においては、そうした平地林もすでにある貴重なグリーンインフラと考えることができるが、平地林は現在も減少と荒廃を続けており^{12~14)}、その保全に向けた機能の評価と、機能の最大化に向けた維持管理手法の確立等が必要である。

本稿では、ひょう、竜巻、台風にともなう気象災害の現地調査の際に確認した、平地林によるとみられる農業気象災害軽減事例をとりあげ、平地林によ

る被害軽減効果について考察し、グリーンインフラとしての平地林の課題と可能性について検討した。

2. 降ひょう時における被害軽減事例

2017年9月25日20:00頃に、茨城県南西部を中心に局地的な降ひょうがあり、最も農業被害が大きかったつくば市ではハクサイ、キャベツ、ナス等に傷が付いたり穴があく等の被害がみられた。20:03につくばアメダスにおいて最大瞬間風速9.7 m/sの北北西の風が観測されており、当時、比較的強い風を伴っていたとみられる。図1、2は降ひょう被害のあった同市農地の位置図および現地写真である。風上側のA畑ではハクサイの葉が破れたり、穴が空くとともに、多くの株が南方向に倒れていた。一方、風下側のB畑ではキャベツやブロッコリーが栽培されていたが、一部で葉に穴が開く被害がわずかに見られたものの、被害程度は非常に軽微であった。A、Bは農作物が異なるが、ともにひょう害を受けやすい葉菜類とされる¹⁵⁾。それにもかかわらず、被害に顕著な差がみられたのは、両畑の間にある平地林の存在によるものと考えられた。すなわち、平地林によってひょうが捕捉され風下側の降ひょう密度が低下したことと、平地林によって風が弱められたことにより、B畑の被害は小さかったものと考えられた。

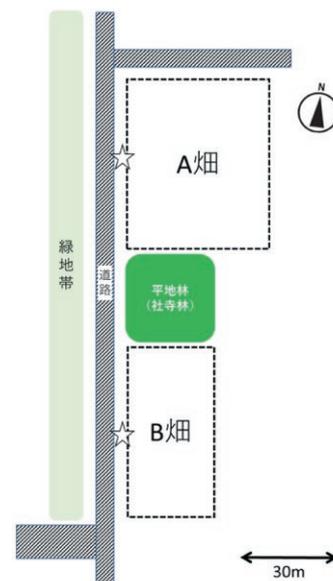


図1 ひょう害のあった農地の位置図(A畑：被害大、B畑：被害小、☆は図2の撮影位置)

Fig.1 Map of agricultural land damaged by hail (A: Extensive damage, B: Limited damage, ☆ indicates site shown in Fig. 2).

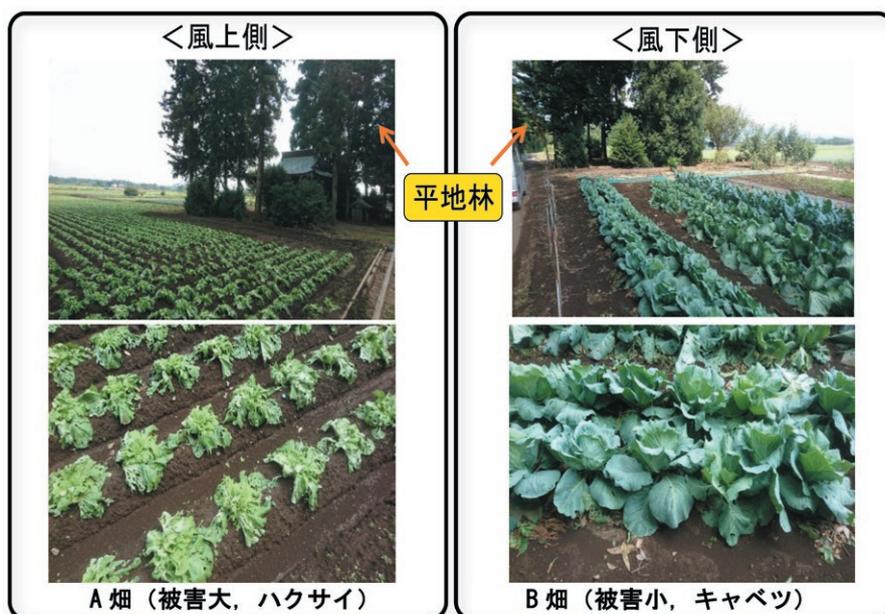


図2 ひょう害のあった農地の写真(下段はともに拡大写真。茨城県つくば市、図1の☆の位置より2017年9月26日撮影)

Fig. 2 Photographs of agricultural crops damaged by hail. Photograph taken from the position indicated by the ☆ in Fig. 1 on September 26, 2017, Tsukuba City, Ibaraki.

Wojtiw and Renick (1973)¹⁶⁾は、ひょう害の大きさが、強風時には弱風時の1.5～2.5倍になるとしており、平地林が防風林の役割を果たし、風下側で減風されたことによって、ひょうの衝突エネルギーが低下したと推測される。この平地林は、1519年(永正16年)創建の八幡神社と称される社寺林で¹⁷⁾、群落調査の結果、樹高約15m、立木密度2.8本/a、平均胸高直径48.5cmで、一辺の長さが約30mのほぼ正方形の形をした林であった。樹種はスギ・モミ・シラカシ・ケヤキ・サクラ・サカキ・ウメ・イチョウにより構成され、林床は土が露出し踏み固められていた。枝下高は約2.5mあったが、南側林縁がサカキとシラカシによって覆われていた。また、林内中央部には、東西約3m、南北約4m、高さ約4mの本殿と、東西、南北がそれぞれ約1m、高さ約1.8mの摂末社とみられる建物があったが、社寺林特有のこうした施設も何らかの影響を及ぼした可能性がある。なお、幅員約4mの道路を挟んで西側にある緑地帯(構成樹種:サンゴジュ、クヌギ、ヒマヤラズギ、シラカシ。樹高約10m)もある程度の効果を発揮したとみられるが、当時の風向から想定して寄与は小さかったものと考えられた。

3. 竜巻時における被害軽減事例

2018年3月1日7:40頃、茨城県行方市において竜巻が発生し、負傷者3名、住家被害108軒の被害が発生した¹⁸⁾。気象庁によれば、竜巻は強さがJEF1(風速約40m/s)で、被害は幅約350m、全長約3kmに及んだ。現地調査の結果、竜巻が通過したとみられる地域に存在する平地林を境に、被害程度が異なる状況を確認した。図3は、竜巻が通過したとみられる行方市南地区の空中写真で、図4は被害を受けた農業施設の写真である。①～⑤地点において、マルチフィルムの剥離や鉄骨ハウス基礎の浮き上がり、両屋根型単棟ハウスの倒壊、パイプハウスの鋼管の屈曲等の被害が確認された。一方、平地林の東側にある⑥、⑦地点では被害は確認されなかった(図5)。⑦の西側の平地林で、アカマツの折損等の被害があったほか(図6)、⑥、⑦の東側でも被害が確認されていることから、この付近が竜巻の通過コースに入っていたことは間違いないとみられる。こうした状況から判断して、⑥、⑦で被害が無かったのは、平地林によって竜巻の風が遮られたことによるものと考えられた。⑥、⑦の近傍の被害箇所では、北もしくは北東方向に被害を受けていたので、南または南西方向の平地林が障壁の役割を果たした

と推察される。平地林は、不定形ながら北東－南西方向に約 800 m 続いており、そのほぼ最北東端が当該地区にあたる。この付近では、樹高が約 15 m で、スギ、アカマツ、ケヤキ、モチノキ等が生育していたほか、林内はアズマネザサ等下層植生や低木が生い茂り過密な状態となっており、下草刈り等の管理がなされている形跡は認められなかった。

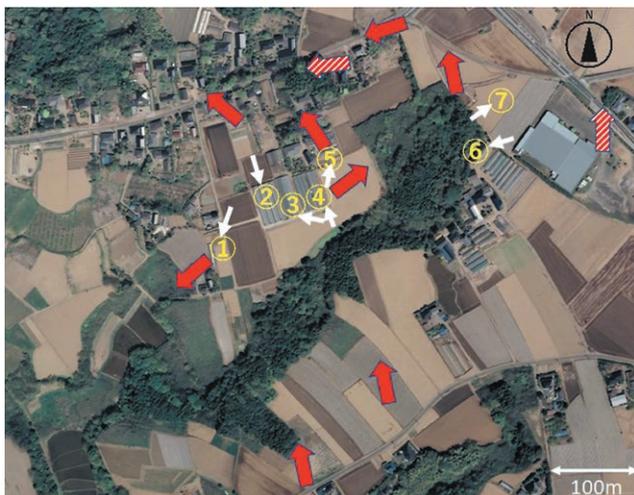


図 3 竜巻が通過したとみられる茨城県行方市南地区の空中写真。○付数字(図 4、5 にも対応、白色矢印は撮影方向)および赤色矢印(被害の方向、斜線矢印は気象庁による調査)は被害確認箇所を表す。竜巻は写真左下から右上方向に通過したとみられている。2010 年国土地理院撮影の空中写真を加工。

Fig. 3 Aerial photograph of the southern district of Namegata City, Ibaraki, that was struck by a tornado. Circled numbers indicate locations where damage was confirmed and corresponds with plates shown in Fig. 4 and Fig. 5; white arrows indicate view-direction of photographs. Red arrows indicate direction of damage. Diagonally stippled arrows indicate a survey conducted by the JMA. The tornado is believed to have passed from the lower left to the upper right of the area shown. Aerial photographs taken by the GSI in 2010.

4. 台風時における被害軽減事例

4.1 台風 1824 号

2018 年 9 月 30 日に非常に強い勢力のまま和歌山県に上陸した台風 24 号により、鹿児島県奄美市で最大瞬間風速 52.5 m/s、東京都八王子市でも 45.6 m/s となるなど、各地で観測記録の更新が相次いだ。茨城県内でも、笠間(35.4 m/s)や下館(32.5 m/s)を含む計 7 箇所で観測史上 1 位の最大瞬間風速を記録した。さまざまな社会インフラが被害を受けたが、農業関連でも農作物やパイプハウス等に大きな



図 4 竜巻による農業施設の被害(①マルチフィルムの剥離、②鉄骨ハウス基礎の浮き上がり、③両屋根型単棟ハウスの倒壊、④、⑤パイプハウスの屈曲、2018 年 3 月 2 日撮影、茨城県行方市)

Fig. 4 Damage to agricultural facilities caused by the tornado; ① plastic mulch films, ② steel-framed greenhouse, ③ even-span greenhouse, ④ and ⑤ pipe-framed greenhouses. Photograph taken on March 2, 2018, Namegata City, Ibaraki.



図5 被害を受けなかった農業施設(⑥パイプハウス、⑦マルチフィルム、2018年3月2日撮影、茨城県行方市)

Fig. 5 Undamaged agricultural fields; ⑥ pipe-framed greenhouse, ⑦ plastic mulch films. Photographs taken on March 2, 2018, Namegata City, Ibaraki.



図6 ⑦の西側にある平地林の被害状況(中央は幹折れしたアカマツ、胸高直径約20cm、2018年3月2日撮影、茨城県行方市)

Fig. 6 Forest damaged to the west of ⑦. A broken red pine trunk is shown at center (DBH: ~20 cm). Photograph taken on March 2, 2018, Namegata City, Ibaraki.

被害が発生し、茨城県全体で約11億円の被害となった¹⁹⁾。図7は、32.7 m/s(南南西)の最大瞬間風速を記録した茨城県つくば市内の農業被害現場の状況である。写真①の左上にある畑(図中A)では、栽培されていたハクサイの葉の破れや網目状になる症状のほか、株が北北東方向に大きく傾斜するといった他の被害地域と同様の被害がみられた。一方、幅員約

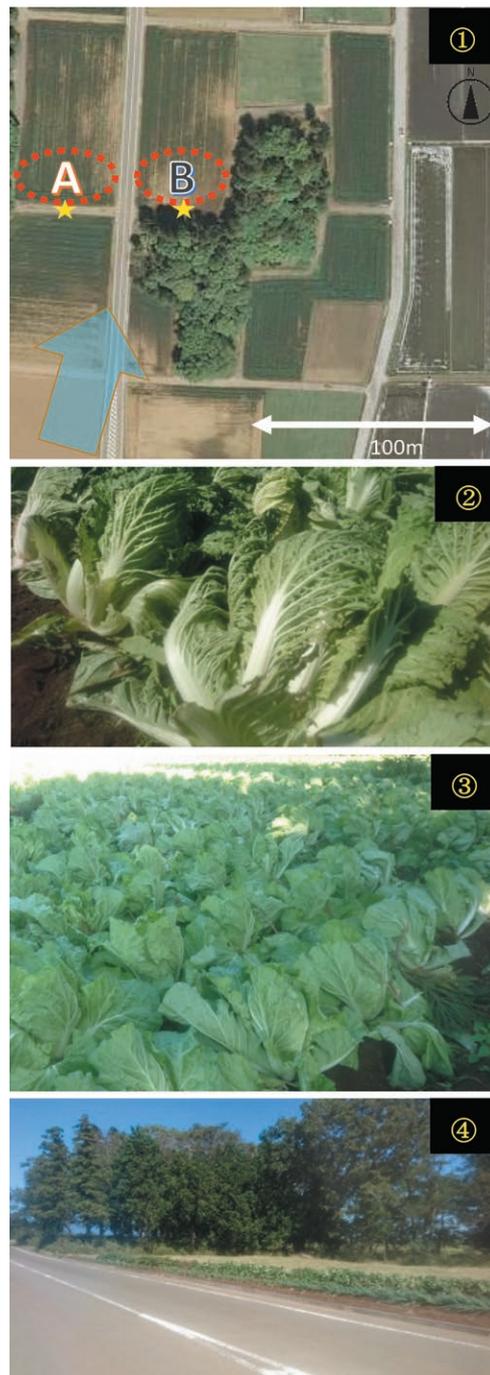


図7 台風1824号によるつくば市内農地の被害状況。①農地周辺の空中写真(青矢印は強風時の主風向、★は翌年の気象センサー設置位置)、②被害を受けたA畑のハクサイ、③被害が軽微だったB畑のハクサイ、④南南西方向から見た平地林、①は2008年国土地理院撮影の写真を加工、②~④は2018年10月1日撮影。

Fig. 7 Damage due to Typhoon Trami (T1824) in Tsukuba City. ① Aerial photograph of agricultural land (blue arrow indicates main direction of winds, ★ indicates the location of weather sensor). Aerial photographs taken by the GSI in 2008; ② Damaged Chinese cabbages in field A, ③ Slightly damaged Chinese cabbages in field B, ④ Forest viewed from south-southwest. Photograph taken on October 1, 2018.

6 m の道路を挟んだ東側でも同じ生産者のハクサイ畑があったが(同B)、西端側の一部の株に同様の被害がみられたほかは目立った被害は確認されなかった。これはBの南側に、幅員約4 mの農道を挟んで存在する平地林が防風林の役割を果たしたことによるものと考えられた。翌年、農地や平地林所有者から気象観測機器設置の許可を得ることができたため、2019年8月に両エリアのそれぞれ南端中央部(図7①の★印)に総合気象センサー(Vantage VUE, Davis Instruments)を設置し、1.8 m高さにおける風向風速を測定した。記録データは、2.5秒ごとに測定した風向風速の1分ごとの平均値と最大値である。測定期間中の2019年10月12日に台風19号がつくば市の北西を通過し、Aにおいて22:16に南南西の風19.7 m/s(最大25.5 m/s)を記録した。台風1824号通過時と同じほぼ南南西の風向となっていた22:13~22:24のAにおける平均風速が13.4 m/sであったのに対し、Bは7.2 m/sで、Aの風速の54%であった(図8)。両年における平地林の状況は大きく変わっていなかったことから、台風1824号通過時においても、両畑で同様の風速の違いがあったとみられ、このことがBで被害が小さかった要因と考えられた。2019年2月にドローン(UAV)を用いて平地林を調査した結果、樹高が約18 mで、強風時の主風向であった南南西-北北東方向の林帯幅は約28 mであった。同年9月に毎木調査を行った結果、立木密度5.1本/a、平均胸高直径38.9 cm、枝下高さ約2.0 mで、構成樹種はスギ、ケヤキ、ヒノキ、サクラ、シデ、ガマズミであった。また、平地林所有者にヒアリングした結果、年に2、3回下草

刈り等の管理を行っているとのことであったが、被害当時は林床が約0.5 mの高さまでアズマネザサにより覆われていた。なお、林地は農地面よりも約50 cmほど高かった。既往の防風林等に関する研究結果と比較するために、同月の曇天日に、スマートフォン(Xperia Z5 SO-01H, SONY)のカメラ部分に魚眼レンズ(FISH EYE LENS 180°, GREEN HOUSE)を取り付け、林内10箇所の1.1 mの高さで全天写真を撮影し、天空率から葉面積指数(単位地上面積当たりの葉面積, Leaf Area Index : LAI, m^2/m^2)を求めた。LAIの算出には植物画像解析ソフトウェア「LIA32」²⁰⁾を用いた。解析の結果、LAIは平均で1.38となった。一般に、LAIは落葉広葉樹で3~7、常緑広葉樹で5~9とされる²¹⁾。また、混合林に関しては、スギ・広葉樹二次林で2.5²²⁾等の測定例がある。近藤(2020)²³⁾は、LAIが2未満のものを疎林としていることから、本平地林も疎林に分類される。本平地林同様に下草が繁茂し、LAIも類似(1.65と1.94)の防風林における佐藤(2002)⁶⁾の測定結果をみると、樹高(H)を基準とした林からの水平距離(高倍距離)が、0~1H付近で風上側風速の50~60%となっており、本測定においてもこれに近い結果となった。したがって、この平地林は同様のLAIの防風林と同程度の減風効果を持つものと考えられた。農地の生産者にヒアリングしたところ、平地林の減風による被害軽減効果を認識していた一方で、日常の営農活動においては、平地林による日射遮蔽によって生じる日陰により、その部分の農作物の生育が不良となる問題点を挙げていた。このことは本平地林に限らず、防風林等においても一般に指摘され

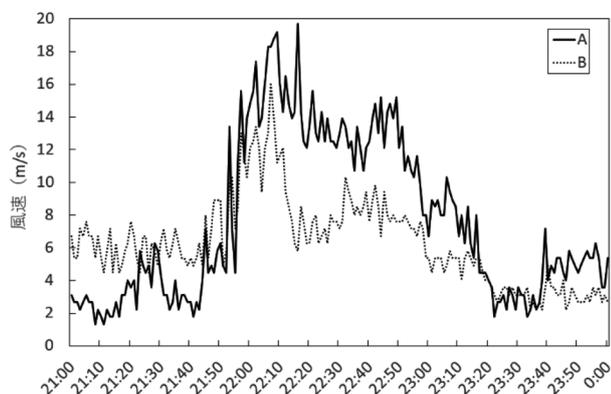


図8 A, Bにおける風速の変化(2019年10月12日)
Fig. 8 Changes in wind speed at A and B (October 12, 2019).

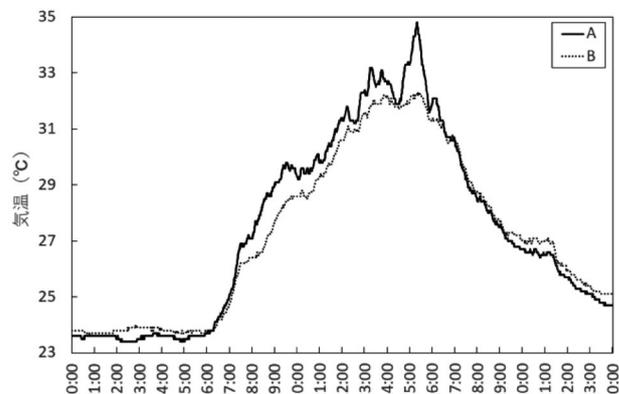


図9 A, Bにおける気温の日変化(2019年8月29日)
Fig. 9 Diurnal changes in air temperature at A and B (August 29, 2019).

る課題である⁷⁾。また、平地林による木陰が、夏季高温時における休息場所となることも同様に生産者から聞かれた。そこで、Bの観測点が夏季に平地林の日陰となっていたことから、総合気象センサーで観測されている気温(自然通風式)をAの値と比較した。図9に、晴天となった2019年8月29日のA、Bにおける気温の日変化を示す。15:20にAで当日の最高気温34.8℃を記録した際のBの気温は32.2℃で、Aに比べ2.6℃低かった(図9)。

4.2 台風1915号

2019年9月9日に、強い勢力を保ったまま千葉県付近に上陸した台風15号は、同市で最大瞬間風速57.5m/sを観測するなど、千葉県を中心に大きな被害をもたらした。農業被害も甚大となり、千葉県では、農林水産業全体で約665億円の被害となったが、その約72%にあたる約478億円が農業施設の被害であった²⁴⁾。現地調査の結果、台風の中心の通過コース東側に位置する八街市内において、多数のパイプハウスが押しつぶされたり、パイプが屈曲、変形するなどの被害を確認した(図10)。パイプハウスは全部で101棟あり、間口が約5m~7m、奥行きが約23m~50mまでいくつか種類があったが、いずれもパイプ外径22.2mm、スパン長45cmで0.15mm農POフィルムが被覆された地中押し込み式パイプハウスであった。ハウスはすべて単棟で、ほぼ北東-南西方向が奥行きとなる方位で立地していた。図11に農地全体の位置図を示す。被害は一樣に発生していたわけではなく、同じ農地内でも甚大な被害が発生しているエリアとほとんど被害が発生していないエリアが明瞭に分かれていた。被害が大きかったのは、A、B団地のハウス群で、南東から北西方向に向けてハウスが押しつぶされたり、パイプが屈曲していたりしたほか、妻面が外れる等の被害が団地内の多くのハウスで発生していた。また、C団地では押しつぶれとフィルムの剥離がそれぞれ1棟で確認された。一方、南東方向に平地林が存在するD、E団地のハウス群においては、一部でフィルムが剥がれる被害が確認されたほかは、目立った被害は確認されなかった。同じ敷地内にありながら、A、B団地で被害が甚大で、D、E団地で被害が小さかったのは、南東側に位置する平地林によって減風されたことによるものと考えられた。平地林はスギやヒノキを主な樹種とする高さ約15m、南東-北西方



図10 台風1915号により被害を受けたパイプハウス(上、図11のB団地)および、被害のなかったパイプハウス(下、図11のE団地。図11の★の位置より2019年9月20日撮影。千葉県八街市)
 Fig. 10 Damage to pipe-framed greenhouse caused by Typhoon Faxai (T1915) (top: B complex in Fig. 11), undamaged house (bottom: E complex in Fig. 11). Photograph taken from site indicated by ★ in Fig. 11 on September 20, 2019, Yachimata City, Chiba.

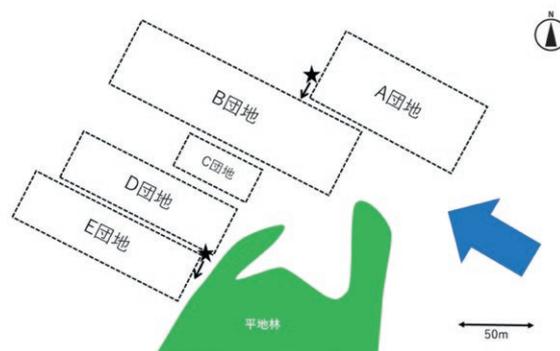


図11. 台風1915号により被害を受けた農地の位置図(団地はハウスの集合体を、青矢印は最も風が強かった時間帯の風向(南東)を表す。★は図10の撮影位置、→は撮影方向を表す)
 Fig. 11 Map of agricultural land damaged by Typhoon Faxai (T1915). Dotted rectangles indicate a group of houses; blue arrow indicates wind direction (southeast) during the windiest period. ★ indicates site where photos in Fig. 10 were taken, → indicates view-direction in Fig. 10.

向の幅が約150 mのもので、管理されている様子はなく比較的密閉度の高い状態であった。D、Eの団地は平地林から北西方向に向かって直線で約120 mの範囲にあり、この平地林の樹高の約8倍の範囲に相当する。一般に、樹高(H)の約20倍(20H)まで減風効果がおよび、約2~8Hでその効果が極大となることが示されていることから^{7)、8)}、これらの団地は平地林の減風効果が最も及ぶ範囲内にあったと推察された。実際に、檜山(1967)⁸⁾の防風林の密度と減風効果との関係のグラフから8Hまでの範囲の相対風速を読み取ると、風上側の風速の約15~70%となるとみられた。飯塚ら(2020)²⁵⁾の解析によれば、台風通過時は千葉県八街市付近で最大瞬間風速30~40 m/sの南東の風が吹いていたことが推測されており、仮に、最大の40 m/sであったとして、平地林の風下8Hの範囲内の最大瞬間風速を見積もると6~28 m/sとなる。この風速は、パイプハウスの耐風速として一般に示される30 m/s²⁶⁾を下回っていることから、D、Eの団地では被害が小さかったものと推定された。なお、生産者からは、台風1824号の場合と同様に、平地林による日陰の問題の指摘があった。

5. 考察

本稿では、農業気象災害の発生現場において確認されたいくつかの平地林によるとみられる被害軽減事例を挙げた。まず、ひょう害が軽減されたとみられる事例では、降ひょう時に風を伴っていた結果、もたらされたものと考えられることから、無風時においては今回のような効果は期待できないと考えられる。しかし、降ひょうは発達した積乱雲に伴い発生することが多く、突風等の強風を伴うことは珍しくない。したがって、平地林の風下側でひょう害が軽減される事例は少なくないと思われる。一般に、農業におけるひょう害対策としては、畑全体を天面までネットで覆う多目的防災網が北関東を中心に主に果樹栽培で普及しており、多目的防災網が展張されている農地においては、あえて平地林による軽減効果をあてにする必要はないように思われる。しかし、大量のひょうが降った場合、多目的防災網の天面ネットにひょうが溜まり、その重さによって網が破れたり、支柱が屈曲する等の被害を受けることがある。また、降ひょうに伴って吹く強風もネットや

支柱への負担となるのはいうまでもない。したがって、たとえ多目的防災網が展張されていても平地林が存在することのメリットはあるといえる。多目的防災網もその設置コストの高さやネット展張の手間などから常襲地域以外ではあまり普及していないのが実情であるが、近年、各地でひょう害が相次いでいること考えれば²⁷⁾、常襲地域以外での平地林の存在意義はより高いといえるだろう。この事例での平地林は本稿の中で、唯一、社寺林として存在していたものであるが、社寺林の多くは宗教的な理由から長年にわたり保護されてきたため、地域の潜在的な植生を現在に伝える貴重な残存林といわれ²⁸⁾、農村には特に多くみられる。また、今回の社寺林は30 m四方の小さな林であるが、そうした小規模の緑地であっても、防災機能を有することが示唆された事例でもある。

次いで、竜巻については、極めて局地性の高い現象であり他の事例に比べ、より推測の部分が多いが、平地林の減風効果によって被害を免れた可能性があると考えられる事例である。竜巻は近年増えていると感じられる向きもあるが、発生情報源の多様化や、調査体制の強化等も関連しており、実際のところ増加傾向にあるとはいいい切れない²⁹⁾。しかし、ひとたび発生すれば、通過地域では甚大な被害となることから注意を要する現象の1つであることに違いはない。一般的な傾向として、東北地方の日本海側から北陸にかけてと、本州と四国の南岸、九州および沖縄県で発生確認数が多く、東北地方の太平洋側と瀬戸内海沿岸で少ないといった傾向が示されているものの²⁹⁾、いつでもどこでも発生する可能性があり、また、発生を事前に予測することが非常に難しい現象でもある。さらに、どこを通るかで局地的にも風向が大きく異なる現象でもあることから、竜巻対策を主眼に検討することは農業に限らず現実的ではなく、季節風等恒常的な強風対策を主目的としつつ、非常時においても被害の軽減が図られることを期待するとした考えが妥当である。本事例も、平地林と無被害農地の位置的關係から、冬季は季節風に対して防風林としての役割を果たしていたものと考えられる。

最後に、台風に関しては、最も風が強かった時間帯の主風向の風下となるエリアで、平地林の減風効果により被害が軽減されたとみられる事例が確認

された。台風 1824 号の事例においては、同様の風向となった翌年の台風 1921 号時に減風効果を検証することができた。その結果、LAI が同程度の防風林に関する佐藤 (2002)⁶⁾の研究と類似した結果となり、本事例の平地林が同様の LAI の防風林と同程度の効果を発揮する可能性が示された。また、台風 1915 号の事例では、パイプハウスの被害が軽減された範囲が平地林の樹高 (H) の約 8 倍 (8H) に相当し、風上側の風速の約 15 ~ 70% となった結果、パイプハウスの耐風速 (30 m/s) を下回っていたものと推察された。いずれの事例も、平地林の減風効果によるとみられる事例であったが、ともに平地林が東~南側に存在し、日陰による問題が生産者より指摘された事例でもあった。防風林や屋敷林の場合も同様に、南~東側は極力開放的な状態とし、障害物を設けないことが一般的である。しかし、内陸部に比べ風が強い沿岸部や島しょ部では、南側も含め農地の周囲全体を、やや背の低い防風垣で囲う事例がよくみられる (図 12)。今後、強い台風の増加が懸念される状況にあっては、台風襲来時に危険半円側に入ることを考慮し、たとえ内陸部であっても、南~東側に防風対策を講じることを検討すべき時代になったといえるかもしれない。その際、日陰になることを軽減するために、沿岸部や島しょ部に低い背の低い防

風垣や光透過性の高い防風ネットを設置することも考えられるが、いずれにしても新たに防風ネット等を設ける場合は、時間的、経済的負担がかかることから、平地林のような緑地がすでに存在すれば、それを活用する方が効率的である。真木 (1987)⁷⁾は、防風林として既存林を残存させることで被害が軽減した事例を紹介し、残置、除去、補植による具体的な既存林の利用方法を示している。さらに、日陰による影響を減らすための樹高の低減、陰性作物への変換のほか、日陰地における他用途利用も対策の 1 つとして示している。平地林によってできる日陰を、夏季の休憩場所として利用している台風 1824 号のハクサイ農家の例は、他用途利用の事例といえる。このように、例えば、山田 (1996)³⁰⁾が示すような都市部における公園緑地の熱中症軽減効果と同様に、平地林も農村部での熱中症対策と位置づけられる可能性がある。熱中症は近年、災害としての扱いが必要とされるほど深刻化しており、農作業時においても例外ではない³¹⁾。今後、熱中症対策を主眼とした WBGT (暑さ指数) 等の計測による平地林の温熱環境の評価も必要と考える。

6. おわりに—グリーンインフラとしての平地林—

本稿は災害現場で確認された被害軽減事例をもとに解析したものであり、平地林による被害軽減をもとに目的として取り組んだ研究ではないため、効果に関する詳細な検討まで行うことはできないが、いずれも平地林の被害軽減効果によるものと考えられる事例であった。平地林に限らず緑地は一度失われると、回復するのにかなりの時間を要する。特に本稿で取り上げたような平地林は、防風林や屋敷林に比べ存在基盤が脆弱で減少や荒廃が著しい。しかし、災害多発が懸念され財政もひっ迫する昨今においては、平地林は地域に残された貴重なグリーンインフラの 1 つと考えられ、効果を積極的に評価し有効に活用していくことが重要といえる。そもそも平地林は、里山 (林) や二次林、雑木林などと呼ばれ、かつては農用林や薪炭林として、燃料や肥料、木材の供給源であるとともに、防風や保水等の機能を発揮する農村と密接な関係をもった空間であった。しかし、化石燃料の急速な普及や化学肥料の使用、さらには外材の輸入等によって利用価値は急速に低下し、都市開発や相続等の理由により減少の一



図 12 防風垣で囲まれた島しょ部の農地 (東京都農業試験場八丈島園芸技術センター (現: 東京都島しょ農林水産総合センター八丈事業所) の上空より 1999 年 9 月撮影)

Fig. 12 Farmland belonging to Hachijoshima Horticultural Research Center (Tokyo Metropolitan Agricultural Experiment Station) surrounded by a windbreak (hedge). Photograph taken by Hachijo Branch, Tokyo Metropolitan Islands Area Research and Development Center for Agriculture, Forestry and Fisheries in September 1999.

途をたどっている^{12), 32)}。また、残存する平地林も、近年、管理不足により放任状態となっているものが増え、不法投棄や獣害の住処となる等の問題も指摘されるなど諸課題を抱えている¹³⁾。このような状況のなか、林野庁や環境省をはじめ、自治体やボランティア団体等が、過密な平地林の下草刈りや枝打ち、萌芽更新等の保全・管理に取り組んでいる(例えば、^{13), 33), 34)}。その目的は、環境保全や景観の維持、防犯等さまざまであるが、防風林の場合も過密な状態よりも密閉度が60～70%が最も望ましいなど^{7), 8)}、適度に管理を施した方が効果が高いとする研究結果が多い(例えば、^{6), 35)}。こうしたことは、農業気象災害の軽減に対しても良い影響が期待できることから、今後、環境保全等の関連機関と農業の関連機関、それぞれが連携しながら、林の保全、管理を進めていくことが求められる。特に、平地林は所有者の高齢化により管理できなかつたり、そもそも所有者がわからないために放棄されている場合も多く、行政も含めたさまざまな方面からの支援と協力が欠かせない。また、平地林による効果は、直近の農地に対するものばかりではなく、集落等居住地も含めた地域全体の風環境に対しても影響を及ぼすことが示唆されている³⁶⁾。こうした知見は、都市や住宅地における今後の緑化や公園緑地等のあり方に対しても参考となろう。コロナ禍により在宅勤務が増加し、ワーケーション(Workation)や身近な緑地への関心が高まるなか、防災的な機能に関するものばかりでなく、アメニティや景観、生物多様性のほか地域文化との関連等さまざまな視点から、地域に残された貴重なグリーンインフラとしての平地林に関する多角的な調査研究を今後望みたい。

7. まとめ

近年発生した、ひょう、竜巻、台風による農業気象災害時に、平地林により被害が軽減されたとみられる事例について示し、平地林のグリーンインフラとしての可能性と課題について検討した。概要は以下のとおりである。

- (1) 降ひょう時における事例では、平地林によるひょう粒の捕捉と風速の低減による衝突エネルギーの低下により被害が軽減されたものと考えられた。
- (2) 竜巻の事例においては、極めて局地性の高い現

象であり断定はできないが、平地林の減風効果によって被害を免れた可能性があると考えられた。

- (3) 台風1824号の事例では、被害の小さかった農地の風速は被害の大きかった農地の54%と推測され、LAIが同程度の防風林に関する過去の研究と類似した結果となった。また、台風1915号の事例では、パイプハウスの被害が軽減されたエリアの範囲が、平地林の樹高(H)の約8倍(8H)に相当していたことから、このエリアの風速が平地林の風上側の風速の約15～70%に減風され、パイプハウスの耐風速(30 m/s)を下回っていたものと推定された。
- (4) 日常の農作業においては、平地林によって日陰になることによる生育不良の問題が指摘された一方で、夏季の熱中症対策としての緑陰となる可能性が示された。
- (5) 今後、地域に残された貴重なグリーンインフラの1つとしての平地林の機能と管理に関するさらなる研究が望まれる。

謝辞

多くの農家等関係者にご協力いただきました。記して深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) グリーンインフラ官民連携プラットフォーム(2020) : <https://gi-platform.com/>. 2020.9.1 参照
- 2) 一般社団法人日本建設業連合会(2020) : グリーンインフラに関する調査報告書. No.329, 148pp.
- 3) 日本学術会議環境学委員会都市と自然と環境分科会(2020) : 提言「気候変動に伴い激甚化する災害に対しグリーンインフラを活用した国土形成により“いのちまち”を創る」, 35pp.
- 4) 国土交通省(2023) : グリーンインフラの推進を通じて「自然と共生する社会」の実現に取り組みます～「グリーンインフラ推進戦略2023」を策定しました!～. (https://www.mlit.go.jp/report/press/sogo10_hh_000300.html, 2023.9.8 参照)
- 5) 一ノ瀬友博(2015) : 人口減少時代の農村グリーンインフラストラクチャーによる防災・減災. 農村計画学会誌, 34(3), 353-356.

- 6) 佐藤隆光 (2002) : 防風林の構造が気象改良効果に及ぼす影響に関する研究. 北海道大学大学院農学研究科邦文紀要, **24**(2), 113-164.
- 7) 真木太一 (1987) : 風害と防風施設, 301pp, 文永堂出版.
- 8) 檜山徳治 (1967) : 内陸防風林. 林業技術, **309**, 23-26.
- 9) 小森美咲・村上暁信 (2013) : 屋敷林の変遷と民家の空間構成に関する研究: つくば市洞下集落を事例に. 都市計画論文集, **48**(3), 363-368.
- 10) 不破正仁 (2016) : 関東地方の屋敷林, 337pp, 中央公論美術出版.
- 11) 入江彰昭・原田佐貴・内田均・竹内将俊 (2020) : グリーンインフラとしての屋敷林「居久根(いぐね)」の多面的機能性に関する研究. 東京農業大学農学集報, **65**(1), 9-18.
- 12) 清水夏樹・佐藤洋平 (2000) : 都市近郊農業地域における平地林の減少要因. 農村計画学会誌, **18**(4), 265-274.
- 13) 林野庁 (2020) : 令和元年度 森林・林業白書, 279pp. (<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/r1hakusyo/index.html>. 2020.9.1 参照)
- 14) 茨城県 : 茨城県森林・林業の動き. (https://www.pref.ibaraki.jp/nourinsuisan/rinsei/kikaku_index/shinrin-ringyou/index.html. 2020.9.1 参照)
- 15) 小元敬男 (1991) : 農業気象災害と対策, II . 各種の農業気象災害と対策, 9. ひょう害, 197-216, 養賢堂.
- 16) Wojtiw, L., and J. H. Renick (1973) : Hailfall and crop damage in Alberta. Preprint 8th Conf. Severe Local Storms, Denver, Amer. Met. Soc., 138-141.
- 17) つくば市の神社 : つくば新聞. (<http://www.tsukubapress.com/jinja.html>. 2020.9.1 参照)
- 18) 東京管区気象台 (2018) : 現地災害調査報告, 平成30年3月1日に茨城県行方市で発生した突風について, 14pp.
- 19) 茨城県農林水産部 (2018) : 台風第24号(9/30~10/1)による農作物等被害状況の確定報告について. (<https://www.pref.ibaraki.jp/nourinsuisan/nougi/documents/181023kakuteihoukoku.pdf>)
- 20) 山本一清 (2005) : LIA for Win32 (LIA32). (<https://www.agr.nagoya-u.ac.jp/~shinkan/LIA32/index.html>. 2020.9.1 参照)
- 21) 只木良也 (1977) : 森林の生態学 (III). 砂防学会誌, **30**(3), 28-38.
- 22) 村上茂樹・久保田多余子・澤野真治 (2003) : 宝川森林理水試験地の初沢流域における毎木調査. 森林総合研究所研究報告, Vol.2, No.3, 207-217.
- 23) 近藤純正 (2012) : K56. 風の解析—防風林などの風速低減域, 近藤純正ホームページ. (<http://www.asahi-net.or.jp/~rk7j-KNDU/kenkyu/ke56.html>. 2020.9.1 参照)
- 24) 千葉県 (2020) : 令和元年房総半島台風・東日本台風及び10月25日の大雨の影響による農林水産業への被害について(最終報). (<https://www.pref.chiba.lg.jp/nousui/documents/r1taihuusaishuuhou.pdf>)
- 25) 飯塚聡・横山仁・清水慎吾・鈴木真一 (2020) : 台風第15号による園芸施設への被害状況に基づく風の解析値の検証. 防災科学技術研究所主要災害調査, **57**, <http://doi.org/10.24732/nied.00002369>.
- 26) 静岡県 (2012) : 施設園芸における台風・強風対策マニュアル. (<https://www.pref.shizuoka.jp/sangyou/sa-310/kisyuu/documents/taifuukyufuu.pdf>)
- 27) 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部門 (2019) : ひょう災害データベース. (<http://mizu.bosai.go.jp/key/HDDDB>. 2020.9.1 参照)
- 28) 真鍋徹・石井弘明・伊東啓太郎 (2007) : 都市緑地としての社寺林の機能評価に向けて. 景観生態学, **12**(1), 1-7.
- 29) 気象庁 : 竜巻等の突風データベース. (<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/stats/annually.html>. 2020.9.1 参照)
- 30) 山田宏之 (1996) : 各種温熱環境指数を用いた夏季緑陰の温熱環境評価. ランドスケープ研究, **59**(5), 65-68.
- 31) 農林水産省 (2020) : 農作業中の熱中症対策について. (https://www.maff.go.jp/j/seisan/sien/sizai/s_kikaika/anzen/attach/pdf/nechu-5.pdf)
- 32) 犬井正 (1996) : 関東平野の平地林の歴史と利用. 森林科学, **18**, 15-20.
- 33) 環境省自然環境局 : 里地里山の保全・活用. (<https://www.env.go.jp/nature/satoyama/top.html>. 2020.9.1 参照)

- 34) 茨城県：身近なみどり整備推進事業. (<https://www.pref.ibaraki.jp/nourinsuisan/rinsei/shinkozei/forest/contents/02/index.html>, 2020.9.1 参照) ション, A-1.
(本研究報告は, 2020年に発表したものの一部を修正, 加筆し編集し直したものである.)
- 35) 鳥田宏行・根本征樹(2002): 防風林の疎密度と林帯幅に関する風洞実験. 日本林學會誌, **84**(2), 85-90. (2023年11月2日原稿受付, 2023年11月8日改稿受付, 2023年11月12日原稿受理, 2023年12月8日公開)
- 36) 蓮沼舜矢・村上暁信(2019): つくば市における防風林の分布変化が周辺の風環境に与える影響. 2019年度日本造園学会全国大会ポスターセッション

要 旨

近年発生した, ひょう, 竜巻, 台風による農業気象災害時に, 平地林により被害が軽減されたとみられる事例について示し, グリーンインフラとしての平地林について検討した. 概要は以下のとおりである. 降ひょう時における事例では, 平地林によるひょう粒の捕捉と風速の低減による衝突エネルギーの低下により被害が軽減されたものと考えられた. 竜巻の事例においては, 極めて局地性の高い現象であり断定はできないが, 平地林の減風効果によって被害を免れたものと考えられた. 台風に関しては, 平地林によって風速が54%に低減されていたとみられる事例や, パイプハウスの耐風速(30 m/s)以下に風速が抑えられた結果, 被害が軽減されたとみられる事例があった. 生産者から日陰による生育不良問題が指摘された一方で, 夏季の緑陰としての効用も聞かれた. 今後, 地域に残された貴重なグリーンインフラとしての平地林の機能と管理に関する研究が望まれる.

キーワード: 平地林, 農業気象災害, 減風効果, グリーンインフラ, 管理