

東京大学秩父演習林で発生した森林火災が土壤無脊椎動物に与えた影響

才木道雄¹・鈴木智之²

1 東京大学秩父演習林

2 東京大学北海道演習林

要旨: 東京大学秩父演習林で発生した森林火災の被害地とそれに隣接する無被害地で、火災翌年に羽化トラップによる土壤無脊椎動物の捕獲調査を行った。捕獲された全個体数およびハエ目、ハチ目などの分類群の個体数は被害地のほうが少なかった。延焼の直接的影響だけではなく、延焼によりリター層が少なくなったことの間接的影響によって、地表近くの土壤無脊椎動物の個体数が減少したと考えられた。一方で、トビムシ目など一部の分類群では被害地で個体数が多くなった。被害地は土壤表層のリターが焼失したのみだったため、リター層より深い場所に生息していた個体には影響が及ばなかったと考えられる。

キーワード: 森林火災, 土壤無脊椎動物, リター

Effect of Forest Fire on Soil Invertebrates in the University of Tokyo Chichibu Forest

Michio SAIKI 1, Satoshi SUZUKI 2

The University of Tokyo Chichibu Forest, Chichibu, Saitama 1

The University of Tokyo Hokkaido Forest, Furano, Hokkaido 2

Abstract: We sampled soil invertebrates by soil emergence traps in burned and unburned areas in the next year of a forest ground fire in the University of Tokyo Chichibu Forest. The number of individuals of total invertebrate and of some taxa such as Diptera, Hymenoptera were fewer in the burned area than the unburned area. Not only direct effects of fire but also indirect effects due to burning off litter might reduce the number of soil invertebrates near the surface. The number of individuals of other taxa such as Collembola was higher in burned area than unburned. As the fire burned off only the surface layer of soil, the invertebrates living deeper layer of soil might be less affected by the fire.

Key-word: Forest fire, Soil invertebrates, litter

I はじめに

土壤に永続的あるいは一次的に生息し、そこで何らかの活動を行なっている動物群である土壤動物は、空間的・時間的变化に伴ってその群集構造を変化させる(1)。土壤動物にとって土壤有機物は食物資源や生息資源として重要で、土壤有機物の蓄積量が土壤動物の侵入や定着に影響を及ぼすことが知られている(2)。また、土壤動物は階層構造や林床植生の貧弱な森林では林内の気象条件の不安定化などの環境変化の影響も受けるなど(15)、土壤環境だけでなく、そこに成立する森林環境からも複雑な影響を受けている。森林環境は自然あるいは人為的に発生する攪乱により急激な環境変化が起きることがある。例えば、森林における火の発生は、それが自然発生であれ人為的発生であれ、その環境や生態系に与える影響は大きい。火による直接的な影響により土壤動物が死滅す

ることもあれば、土壤有機物や樹木や林床植生が焼失して食物資源や生息環境が激変することによる間接的な影響を受けることもあると予想される。しかし、火による攪乱が土壤動物に与える影響を扱った研究は少ない。

筆者らは、埼玉県秩父市にある東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林秩父演習林(以下、秩父演習林)で発生した森林火災の被害地とそれに隣接する無被害地に羽化トラップを設置し、土壤から発生する土壤無脊椎動物の捕獲調査を行った。その結果、火災被害の有無によって捕獲状況に明らかな違いがあったので報告する。

II 方法

1. 火災の概要と調査地 火災は2017年11月21日昼過ぎに発生した。秩父演習林利用者が調査に使用していた小型無人機ドローンが墜落し、離脱した充電池より

出火したとみられた。消防署と消防団による消火活動により、翌日 15 時頃に鎮火した。この火災では立枯木などで数 m の高さまで燃え上がったものの、主な燃焼物は落葉落枝や倒木で、生木の被害の多くは地際部にとどまる地表火であった。延焼範囲は、出火地点より斜面上方向の約 4.5ha であった。延焼範囲には、太平洋山地帯のイヌブナ・ツガ・ブナ優占林の動態を解明するために設置された大面積プロット (17) の毎木調査区が含まれていた。大面積プロットの毎木調査区では 25m 四方の区画に分割し、地上 1.3m 部の周囲長が 15.7cm 以上の樹木を調査対象として個体識別番号を付けて、5 年ごとに毎木調査を行っている (4, 12, 18)。そこで、毎木調査区内の火災被害地 15 区画を被害区とし、等高線方向に隣接する無被害地の 15 区画を対照区とした。火災被害前の 2014 年の毎木調査資料によると (4)、被害区の生木は 42 種で、高木種はイヌブナ・ツガ・アカシデ・コハウチワカエデ・ブナ、小高木種はリョウブ、低木種はアセビが多く、この 7 種で全体本数の 79% を占めていた。また、対照区内の生木は 42 種で、高木種はイヌブナ・ブナ・サワシバ・ツガ・コハウチワカエデ、小高木種はリョウブ、低木種はアセビが多く、この 7 種で全体本数の 73% を占めていた。火災の発生した時期は落葉樹の葉が全て落ち、林床にはリターが数 cm 堆積した状態であった。

2. 調査方法 樹木の被害状況を把握するため、2018 年 6 月に被害区内にある大面積プロット調査対象木の生死および衰弱状況を確認した。被害レベルは葉の状態から 8 段階に区分した (被害なし, 枯れ (葉なし), ほぼ枯れ (半分より多くの葉なし), 半分枯れ (おおよそ半分の葉なし), 少し枯れ, 先枯れ, 下枯れ, 葉しおれ)。

被害区と対照区の林内環境を比較するため、2018 年 6 月、被害区と対照区内の任意の地点で林冠空隙率と林床合計被覆率 (林床植生被覆率 + リター被覆率) を計測し、両区の差の有無を Mann-Whitney U test で検定した。林冠空隙率は撮影した全天写真画像を CanopOn2 (<http://takenaka-akio.org/etc/canopon2/>) で解析した。林床合計被覆率は初ら (3) の方法に従った。ただし、本調査地は急傾斜で撮影が難しかったため、解析範囲は 50cm 四方とし、解析にはフリーソフトの GIMP を使用した。

土壌無脊椎動物の捕獲は、2018 年 6 月 26 日から 10 月 2 日までの約 3 ヶ月、羽化トラップ (60cm×60cm×60cm) を用いて行った。羽化トラップは各区内の任意の地点に 3 基ずつとし、約 2 週間ごとに内容物を回収した後、場所を変えて再設置を繰り返した。回収した土壌無脊椎動物のうち、最も捕獲数の多かったハエ目は科レベル、それ以外は目レベルで分類してエタノール標本にした。内

容物の回収時にトラップの転倒や破損などが確認された 6 基は除外した (被害区: 6 月 26 日～7 月 10 日設置分の 2 基, 対照区: 6 月 26 日～7 月 10 日設置分の 1 基, 9 月 4 日～9 月 18 日設置分の 2 基, 9 月 18 日～10 月 2 日設置分の 1 基)。被害の有無と回収日を固定効果, トラップをランダム効果として, 回収日ごとの捕獲個体数を一般化線形混合モデル (ポアソン分布を仮定) で解析した (Wald 検定)。解析対象は捕獲数が 50 個体以上の分類群とした。解析には R version 3.5.1 (11) を使用した。

III 結果と考察

被害区内にあった調査対象木のうち、枯れが 25.1%, ほぼ枯れが 2.9%, 半分枯れが 1.7%, 少し枯れが 0.6%, 先枯れが 0.0%, 下枯れが 5.0%, 葉しおれが 1.7%, 被害なしが 63.0% だった (図-1)。全天写真からもとめた林冠空隙率は、被害区が 5.5~30.1%, 対照区が 7.0~14.1% で、統計的に有意な差があるとはいえなかった ($P = 0.19$, $U = 81$, $n_1 = n_2 = 15$)。林床合計被覆率は、被害区が 39~75%, 対照区が 71~100% で、統計的に有意な差があった ($P < 0.01$, $U = 5$, $n_1 = n_2 = 15$)。

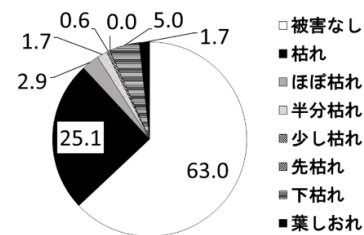


図-1. 被害レベルの本数割合 (%)

Fig. 1 Percentage of damage level (%)

羽化トラップで捕獲された土壌無脊椎動物は、不明幼虫を含めて被害区が 19 目 4613 個体, 対照区が 17 目 7180 個体で、被害区のほうが有意に少なかった (表-1, GLMM, 被害の有無 $P < 0.001$)。捕獲数が 50 個体を超えた目のうち、ダニ目 ($P < 0.001$), クモ目 ($P < 0.001$), ハエ目 ($P < 0.001$), チョウ目 ($P < 0.05$), ハチ目 ($P < 0.001$) は被害区で有意に少なく、トビムシ目 ($P < 0.05$), カメムシ目 ($P < 0.05$), コウチュウ目 ($P < 0.001$) は対照区で有意に少なかった。ただし、ダニ目やトビムシ目などの非飛翔性の分類群については、羽化トラップの網を登ってきたものだけが捕獲されているため、捕獲されている種には偏りがあると考えられることは留意する必要がある。カジリムシ目は統計的に差があるとはいえなかった。捕獲数が最も多かったハエ目は被害区が 22 科 1681 個体, 対照区が 25 科 4218 個体で、被害区

表一 1. 捕獲された土壌無脊椎動物の個体数

Table. 1 Number of soil invertebrates

	被害区	対照区
カニムシ目	1	0
ザトウムシ目	21	9
ダニ目	223	522
クモ目	49	81
ヤスデ綱	1	2
ムカデ綱	6	4
トビムシ目	1107	829
イシノミ目	1	1
カワゲラ目	1	0
ハサミムシ目	5	7
バッタ目	5	11
カジリムシ目	66	51
アザミウマ目	21	24
カメムシ目	63	37
アミメカゲロウ目	5	4
コウチュウ目	256	169
ハエ目	1955	3944
チョウ目	24	45
ハチ目	765	1416
幼虫	38	24

表一 2. 捕獲されたハエ目の個体数

Table. 2 Number of Diptera

	被害区	対照区
ヒメガガンボ科	3	6
ガガンボ科	1	0
ケバエ科	0	1
ケツメカ科	0	1
ツノキノコバエ科	4	6
ナミキノコバエ科	41	147
クロバネキノコバエ科	553	882
タマバエ科	438	1035
チョウバエ科	8	11
ニセケバエ科	0	18
ヌカカ科	17	244
ユスリカ科	128	987
シギアブ科	1	12
オドリバエ科	21	57
アシナガバエ科	19	18
ノミバエ科	404	717
クロツヤバエ科	2	0
シマバエ科	0	17
クチキバエ科	1	0
ハナホソバエ科	1	10
キモグリバエ科	1	28
トゲハネバエ科	0	3
フンコバエ科	2	7
ショウジョウバエ科	24	5
ヒメイエバエ科	1	1
イエバエ科	3	0
クロバエ科	8	2
ニクバエ科	0	1
ヤドリバエ科	0	2

分類は「日本産昆虫目録」に準ずる
ただしセダカバエ科はオドリバエ科に含む

のほうが有意に少なかった(表一 2, $P < 0.001$)。ハエ目では捕獲数が 50 個体を越えた全ての科で、対照区よりも被害区の捕獲数のほうが有意に少なかった(ナミキノコバエ科: $P < 0.001$, クロバネキノコバエ科: $P < 0.001$, タマバエ科: $P < 0.001$, ヌカカ科: $P < 0.001$, ユスリカ科: $P < 0.001$, オドリバエ科: $P < 0.05$, ノミバエ科: $P < 0.001$)。

秩父演習林で発生した火災は主にリター層や樹木の地際部を燃焼させる地表火であったが、被害区では、およそ 4 割の樹木に枯れや葉のしおれなどの被害が確認された。地表火でも地際部形成層が破壊されることで樹木は枯死するため(6), 地際部にリターの堆積が多かった樹木を中心に被害を受けたものと考えられる。林冠空隙率は、被害区と対照区で明確な差は認められなかった。一方、被害区の林床合計被覆率は対照区と比べてかなり低かった。調査地周辺は高密度化するニホンジカの影響により林床植生が衰退していたことから、林床合計被覆率の違いは主にリター層の焼失によるものと考えられる。これらの結果は、火災被害翌年では地表火による影響が林冠部で少なく、地表部で多かったことを示している。ただし、地表火による樹木の枯死は火災被害 2 年目以降も続くことから(6), 今後、被害区では枯死木(枝)の折損により林冠空隙率は増加し、逆に衰弱木や枯死木(枝)の発生による落葉落枝や腐朽木の地表部への供給量の増加により、林床合計被覆率が増加する可能性もある。

羽化トラップでの捕獲数が最も多かったハエ目では、対照区よりも被害区で捕獲数が少なかった。捕食性のアブ類は伐採により林床に放置された腐朽木の堆積に伴って羽化数が増えることが知られており(16), マツ属の重要な害虫であるマツノタマバエは落葉落枝の除去管理を行った林分での羽化数が少ないことが知られている(5)。これらの先行研究は、ハエ目の一部の種では、羽化数が落葉落枝や林床に堆積した腐朽木に影響を受けることを示唆する。秩父演習林で発生した火災でも、火による直接的な影響と落葉落枝や腐朽木が焼失したことによる間接的な影響により、ハエ目のほか、ダニ目、クモ目、チョウ目、ハチ目など一部の分類群の個体数が減少したものと考えられる。一方、トビムシ目、カメムシ目、コウチュウ目では、対照区よりも被害区で捕獲数が多かった。中村ら(10)が秋季に行った大型土壌動物の生息深度調査では、全個体数の 18%が地表、15%がリター層、51%が深さ 10cm, それ以上の深さで 16%が採集されている。特に、トビムシ目は A 層までの比較的上層に多く生息するものの、秋から冬にかけてはより下層の B 層で増加する傾向があることが知られている(13)。伐採搬出

して燃料となる植物体量が少ない状態で焼畑を行うと火力が弱く焼きむらができ、焼け残った木を積み上げて再点火しても土壌の温度上昇は深さ 2.5cm で 25.5°C, 深さ 5cm で 13.5°C, 深さ 7.5cm で 8.5°C 程度であったという実験結果も報告されている (9)。秩父演習林の火災被害地は火災発生以前に伐採等の人為的な影響を受けておらず、燃料となる植物体が多い状態とはいえなかった。また、Kalisz and Powell (8)によると、野焼き (prescribed fire) による土壌無脊椎動物への影響は地中性のものより林床性の生息種で大きいことがわかっている。以上により、秩父演習林で発生した火災では火力がさほど強くなく、リター層より深い場所に生息していた一部の分類群には大きな影響を及ぼさなかったことが考えられる。

ザンビアの熱帯季節林でも、森林火災跡でハチ目やハエ目に負の影響が見られるなど本研究と同様の傾向が見られた一方で、本研究で正の影響が見られたカメムシ目やコウチュウ目にも負の影響が見られた (14)。また、同様のリター層の減少であっても、ニホンジカの高密度化に伴うリター層の薄化と土壌孔隙度の低下によりクモ目やコウチュウ目が負の影響を受け、ハエ目やカメムシ目は顕著な影響を受けないことが報告されており (2)、本研究とは異なる傾向が見られた。以上の結果は、攪乱の種類が同じでも環境条件や攪乱の強度によって、また、同様の環境変化でも攪乱の種類によって、その影響が大きく異なることを示唆する。攪乱による土壌動物への影響とその要因の解明のためには、攪乱の種類とその規模、時季、地域等に応じた影響評価を行う必要がある。

謝辞: 本研究は「サントリー天然水の森 東京大学秩父演習林プロジェクト研究助成金」の助成を受けて行った。土壌無脊椎動物の分類は志津木真理子氏にご協力いただいた。ここに記して御礼申し上げる。

引用文献

- (1) 青木淳一 (1973) 土壌動物学. 北隆館, 東京, 814pp.
- (2) 敦見和徳・奥田 圭・小金澤正昭 (2015) ニホンジカの高密度化による林床環境変化が初夏型の土壌動物群集に与える影響. 森林立地 57 : 85-91.
- (3) 初 磊・石川芳治・白木克繁・若原妙子・内山佳美 (2010) 丹沢堂平地区のシカによる林床植生衰退地における林床合計被覆率と土壌侵食量の関係. 日林誌 92 : 261-268.
- (4) 原口竜成・齋藤俊浩・吉田弓子・高徳佳絵・丹羽悠二・五十嵐勇治 (2016) 秩父演習林大面積プロットにおける毎木調査資料 (2014 年). 演習林 (東大) 58:9-174.

(5) 細田浩司・岸 洋一・小倉健夫 (1997) 林床の状態により大きく変動したマツノタマバエの羽化消長. 日林誌 79 : 242-245.

(6) 五十嵐陽子・竹村歩美・岸 洋一 (2001) 東京農工大学唐沢山演習林に発生した地表火の樹木に及ぼした影響. 日林誌 83 : 351-354.

(7) 伊藤大輔・福永健司・吉田 寛 (2009) 緑化法面における土壌動物と環境要因との関係. 日緑工誌 35:206-209.

(8) Kalisz P. J. and Powell J. E. (2000) Effects of prescribed fire on soil invertebrates in upland forests on the Cumberland Plateau of Kentucky, USA. *Natural Areas Journal* 20 : 336-341.

(9) 鎌田磨人・中越信和・高橋史樹 (1987) 焼畑の火入れが埋土種子の発芽に及ぼす影響. 日生態学誌 37 : 91-100.

(10) 中村好男・藤川徳子・山内克典・田村弘忠 (1970) 北海道の天然林と人工林における土壌動物相. 日林誌 52 : 80-88.

(11) R Core Team (2018) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

(12) 澤田晴雄・大村和也・芝野伸策・藤原章雄・梶 幹男 (2006) 秩父演習林大面積長期生態系プロットにおける毎木調査資料 (1994-2005 年). 演習林 (東大) 45:71-218.

(13) 下川利之 (1981) アカマツ林の下層植生の調節と A0 層の除去がきのこと土壌生物に与える影響. 森林立地 23 (1) : 1-8.

(14) Sileshi G. and Mafongoya P. L. (2006) The short-term impact of forest fire on soil invertebrates in the miombo. *Biodiversity and Conservation* 15 : 3153-3160.

(15) ソン ゼェタク・薛 孝夫 (2004) 造成樹林の生態系回復の指標としての林床植生および土壌動物相の有効性. 日緑工誌 30 : 21-26.

(16) 末吉昌宏・佐藤大樹 (2010) 育成天然林施業がやんばるの森の腐朽木に生息する捕食性アブ類 (双翅目) 群集に与える影響. 日林誌 92 : 255-260.

(17) 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林秩父演習林 (2012) 秩父演習林第 10 期教育研究計画 (2011 (平成 23) 年度~2020 (平成 32) 年度). 演習林 (東大) 51 : 177-266.

(18) 吉田弓子・丹羽悠二・五十嵐勇治・千嶋 武・原口竜成・大村和也 (2012) 秩父演習林大面積プロットにおける毎木調査資料 (2009 年). 演習林 (東大) 52:187-305.