

報告

平成 28 年(2016 年)熊本地震におけるさく葉標本の落下状況の分析

安田晶子・前田哲弥・廣田志乃

熊本県博物館ネットワークセンター
〒 869-0524 熊本県宇城市松橋町豊福 1695
E-mail: aki@fieldnote.com

要旨 当施設は 2016 年 4 月の一連の熊本地震で被災し、さく葉標本を密封したビニール袋がオープンラックから落下した。袋はラックの 4 段の棚板に平積みまたは箱収納されていた。落下した 216 袋の 95.2% は床から 2.0m の最上段に収蔵されていた。箱ごと落下した 3 箱は全て最上段からだった。床から 1.4m の上から二段目の棚板からの落下は 3.9% だけだった。本震の後、紙製のひも（直径 2.8mm）と発泡スチロール板で作製した簡易の落下防止装置を設置した棚板からの余震による落下はなく、落下防止の効果が確認された。1.4m 以下に収蔵、箱や落下防止装置の利用は、収蔵品の落下防止に有効であることが示唆された。

キーワード: 熊本地震, 植物標本, 収蔵品の落下, the 2016 Kumamoto earthquakes, herbarium, fallen collections

2016 年 4 月 14 日 21 時 26 分、熊本地方で最大震度 7 (M6.5) の地震が発生した (前震)。4 月 16 日の深夜 01 時 25 分にはさらに大きく揺れ、最大震度 7 (M7.3) を観測した (本震)。地震はその後も収まることなく、4 月 16 日の間に最大震度 6 弱以上の揺れが継続的に 3 回発生した。その後もさらに余震が続き、2016 年 4 月末までに、最大震度 3 以上の地震が 75 回観測された (気象庁、震度データベース検索 2017/03/07 確認; <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php>)。気象庁は、のちに熊本県を中心とする一連の地震活動を「平成 28 年 (2016 年) 熊本地震」と命名した。

熊本県博物館ネットワークセンターは熊本県宇城市松橋町 (北緯 32.641° 東経 130.700°) にあり、布田川・日奈久断層帯の西側に、前震 (2016 年 4 月 14 日) を引き起こしたとされる御船活動セグメント (産業技術総合研究所、活断層データベース 2017/04/10 確認; https://gbank.gsj.jp/activefault/index_gmap.html) の南端付近に位置している。2016 年 4 月 16 日の最大震度 7 (M7.3) を観測した本震の際は、当施設の位置する宇城市松橋町は震度 6 強が記録された。前震、本震ともに地震発生時には、施設内に人はいなかった。本施設の本館 (2 階建て鉄筋コンクリート) および収蔵棟 (1 階建てプレハブ) は共に建物も壁や床に亀裂が入るなどの影響を受けたが、倒壊することはなかった。植物の標本が保管されている収蔵棟の植物標本収蔵室内では、本震後に鋼製オープンラックからは多数のさく葉標本が落下していた (図 1)。その他、木製



図 1. 平成 28 年熊本地震後の植物収蔵庫内の様子 (2016 年 4 月 19 日)

の棚が転倒するなどの被害があったが、雨漏りはなく水損はなかった。

2011年の東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）では、岩手県沿岸部の複数の博物館で、地震に加えて大津波による甚大な被害があり、多くの標本が被災した。この際の標本の救出や復元作業については複数の報告がされている（布施ほか，2011；御巫・尾崎，2011；鈴木，2011；小川，2012；久米田ほか，2015）。しかし、地震の物理的な震動による標本の被災報告はあまり蓄積されてはいない。本稿では、平成28年（2016年）熊本地震で被災したさく葉標本について、それらの落下状態について報告する。

地震発生時の標本の収蔵方法

植物標本収蔵室は、収蔵棟を構成する3部屋のうちの中央に位置し、東西方向の両側には別の収蔵室が位置していた。収蔵室から廊下への出入り口が北側に位置していた。さく葉標本は、植物種ごとにジーナスカバーでまとめられ、平均で20点程度の標本がチャック付きビニール袋に封入した状態で保管棚に収納されていた。保管棚は、扉付きの鋼製標本棚、扉付きの木製標本棚および鋼製オープンラックの3種類に、APGIIの分類体系に従って配列し収納されていた。扉付きの鋼製および木製の標本棚からのさく葉標本の落下はなかったため、ここでは扉付き標本棚に配架されていた標本は扱わない。

鋼製オープンラックには、4段の棚板があり、ここでは1枚の棚板の広さ（幅1.76m、奥行き0.57m、高さ2.6m）を1セクションとする（図1）。ラックは棚板を支柱にビスで固定する形式で、支柱は棚板をつけるための穴が両側にある。最下段以外の3段の図2に示す。図2に四角一つを1セクションとし、室内におけるラック（全56セクション）の配置を棚段別に示す。中央通路をはさんで、室内の西側では6セクション、東側では5セクションが連なり、隣あう棚板が一つの支柱を共有してつながっている。東西に長くのびた南北の2列のラックどうしは2カ所の金具で連結されている。さらに、南北に通路を隔てたラックの列は支柱どうしの上部を鋼製のつなぎ材で連結されていた（図2ではつなぎ材の位置を最上段に縦の点線で示した）。つまり、西側では36（6×2×3）セクション、東側では20（5×2×2）セクションが連結されている。どのラックも床や天井には固定されていなかった。

ラックは4段で、それぞれの棚板表面までの床からの高さは、下から順に0.13m、0.8m、1.4m、最上段は2.0m、であった（図1）。各棚板に複数の標本袋を横に4つの山に平積みにし、その間にしきりはなかった。以前から棚板上に平積みにした標本袋の山が崩れることがあったため、平成27年度より紙箱（幅0.37m、奥

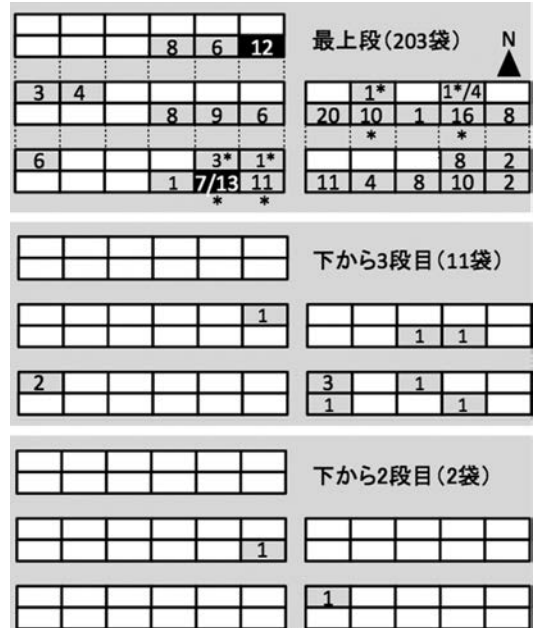


図2. 植物収蔵庫内のさく葉標本の鋼製オープンラック（保管棚）の配置の平面図

図の上方が北を示し、北に廊下に通じる出入り口が位置する。上から、最上段、下から三段目、下から二段目のそれぞれの棚の配置の平面図。□内の数値は落下袋数。落下のなかった棚は空欄。最上段の図の縦の点線はつなぎ材の位置。黒塗りのセクションは箱落下のあった位置。黒塗りの「7/13」はこのセクションから落下した13袋のうち7袋が箱に入ったままの落下だった。*のついた数字は南北セクションの境を越えて落下した袋数。

行き0.50m、高さ0.26m）を導入したので、一部の標本袋は紙箱に収納してあった。箱は、ラックの下の段から順に17箱、23箱、21箱、9箱の合計70箱が配置されていた。最上段については、全ての棚板上に袋または箱が配置され空スペースはなかった。

標本の落下状況の調査方法

落下標本については、1) 落下時期、2) 落下していた位置、さらに3) 落下前の位置を調べた。

前震でも落下はあったが少数だったので、翌日の2016年4月15日には一度落下した標本袋の全てを元の棚に戻した（落下数は不明）。その翌日の16日の本震で再び多数のさく葉標本が落下した。本震から3日後の4月19日に植物標本収蔵室で落下した標本の種名を記録した。4月16日の本震以降も震度4以上の余震が

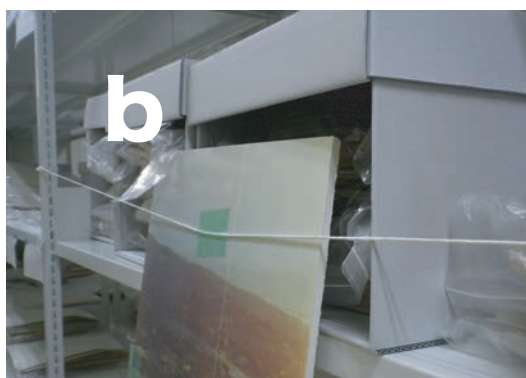


図3. 発泡スチロール板を紙製ひもにガムテープで止めてラックに設置した落下防止装置
aは標本の入ったビニール袋の落下が、bは標本の入った袋入りの箱の落下が落下防止装置で止まっている様子

頻発し、長時間にわたり植物標本収蔵室内において作業を行いことは危険を伴う状態が続いたので、落下した標本袋を落下地点近くの床に平積みにし、箱で落下した標本については、標本を箱に入れた状態で床に置いた。

4月19日には、余震でさらに落下するのを防ぐため

に、収蔵室内に保管されていた発泡スチロール製展示パネルを加工して、約 0.27m × 0.4m の板をガムテープで直径 2.8mm の紙製ひも（佐賀板紙株式会社）に貼り、そのひもをオープンラックの支柱に固定して落下防止装置を作った（図3）。しかし、震度4以上の余震が続いていた上に、資材が不足していたため、落下防止装置は一部の棚にしか設置できなかった（上段と下から3段目に8カ所ずつ）。下の2段には設置しなかった。

5月に入り震度4以上の余震回数が減少しつつあったため、5月9日から6月14日の間に落下した標本を収蔵室から持ち出して、本館の資料整理室で標本の状態を観察した（安田&前田、準備中）。持ち出す時には、それぞれのビニール袋が落下していた通路（平積みにされていた位置）を記録した。落下した標本の種名から、落下前に収蔵されていた棚の位置と段高を調べた。

落下状況のあった方位の比較検定は、 χ^2 検定を用いた。

結果

時期別にみた落下標本数

2016年4月16日から7月21日までの97日間に、全体で、35科174種（品種を含む）の216袋4046点の標本が落下していた（表1）。全落下数に対して、2016年4月16日から19日までの3日間に袋数で94.4%（204袋）、標本数で96.7%（3929点）が落下していた。このうち、19袋（9.3%）、標本360点（9.2%）が箱に入ったままでの落下だった（以下では箱落下とする）。

2016年4月19日以降は、袋数で12袋（5.6%）、標本数で135点（3.3%）が落下した。4月19日に落下防止装置を設置したセクションでは、その後に新たな標本の落下はなかった。また、これらのセクションでは、ビニール袋や箱が移動し落下防止装置の板に接触している様子が確認された（図3aとb）。

7月21日以降も余震は続き、最大震度5以上の揺れも観測されたが、その後の新たな落下は確認されな

表1. 時期および収納別にみた標本の落下数

配架状態	落下時期*	段の高さ	袋数	%	標本数	%
箱	以前	最上段	19	8.8	360	8.9
袋（平積み）	以前	最上段	172	79.6	3375	83.1
袋（平積み）	以前	上2段	11	5.1	159	3.9
袋（平積み）	以前	上3段	2	0.9	35	0.9
袋（平積み）	以前	上4段	0	0	0	0
袋（平積み）	以降	最上段	12	5.6	135	3.3
合計			216	100	4064	101**

落下時期*が、2016年4月19日よりも以前または以降を示す

** 小数点第二位を四捨五入した

かった。

落下のあった高さ

落下標本の95.2% (3870点) が最上段から落下していた。箱は最上段からのみ落下した (表1)。平積みでも、落下した袋のうち 184袋 (標本数で3510点) が最上段から落下した。下から3段目 (上から2段目) からの落下は11袋 (159点)。下から2段目 (上から3段目) からの落下は2袋 (35点) のみで、最下段からの落下は確認されなかった。落下があったセクション (以下では落下セクションとする) の室内の位置を棚板の高さ別に図2に示す。

箱落下の状況

箱落下は、最上段の2セクションでのみ生じ、図2の北側の黒塗りセクションではそれぞれ5袋 (84点) と7袋 (177点) を収納していた2箱、南側の黒塗りセクションでは7袋 (99点) を含む1箱が落下した。南側の黒塗りセクションからは箱落下の他に6袋 (36点) が落下した。箱落下後、箱のすき間から袋がはみ出した例はあったものの、箱からビニール袋だけが飛び出して落下した例は確認されなかった。

落下のあったセクションの室内の位置

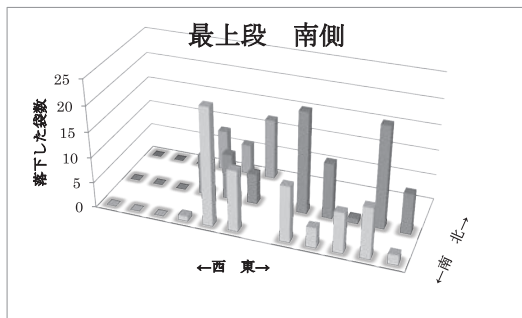
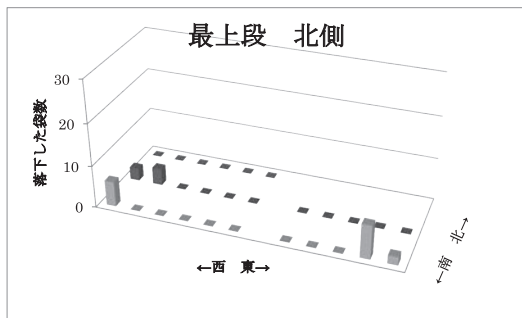


図4 袋が落下したセクションの分布の落下方向 (南北)

中央通路よりも東側で落下セクションが多い傾向がみられた。例えば、室内西側の最も北側の連なった6セクションではどの高さでも落下はなかった。最上段について、中央通路を隔てた西側で連結された36セクションと東側で連結された20セクションについて、落下セクションの割合を比較した。最上段の落下セクションの割合は、東側で $P < 0.03$ の水準で有意に高く ($\chi^2 = 5.0, DF = 1, P = 0.03$)、落下袋数も東側が105袋で西側の91袋よりも多かった。

セクションの境を越えた標本は全て最上段の北側セクションから南側通路へ落下した。図2の「1*/4」は、このセクション (北側) から落下した4袋のうち3袋はそのまま北側に落下し、1袋はセクションの境を越えて南側の*の位置に落下した。

さらに、標本が南北どちらに落下したか (落下方位) について検討する (図4)。セクションの境を越えた6袋の標本は、南側のセクションに加算した。最上段では、落下セクションの割合は南側が有意に多かった ($\chi^2 = 12.21, DF = 1, P < 0.001$ 、セクション数は北6、南19)。下から3段目の落下方位は南4、北7セクションで最上段とは逆に北側の落下セクションが多かったが、有意な差はなかった ($\chi^2 = 1.7, DF = 1, P = 0.2$)。下から3段目では落下袋数も南側の4袋に対して北側は7袋と多かった。下から2段目の落下方位は南北1セクションずつ (1袋ずつ) で、南北のセクション数は28ずつなので、落下セクションの割合は南北で差がなかった。

考察

標本の落下

ラックが震動で揺れた時、棚板上に置かれている標本と棚板接触面の間に摩擦力生じる。摩擦係数と垂直抗力 (重力) の積である摩擦力が大きい場合には、棚板上の物はすべりにくく、落下しにくい。箱落下が少なかったのは、箱はビニール袋に比べ摩擦力が大きかったからと考えられる (表1)。なぜならビニール袋よりも紙箱は素材の摩擦係数が大きいものと考えられる。また標本を積み上げた状態よりも箱にはいった状態のほうが、全重が箱の底面にかかるので、垂直抗力 (重力) も大きいからである。

本調査において、植物標本の垂直抵抗 (重量) は積み上げた袋および箱のそれぞれで比較的均一だった。また、すべて同じビニール袋および箱を使用していたため、摩擦係数も袋、箱のそれぞれの場所で同じであったと考えられる。そこで、標本収蔵室内における落下セクションの位置や落下方向および落下数は、棚板の震動の違いを反映していると考えられ、棚板の高さおよび室内のセクションの位置により揺れ方に違いがあったことを示唆している (図2)。

落下の約 95.2% は最上段（床から 2.0m）からの落下であった（表 1）。さらに、箱落下、余震（2016 年 4 月 19 日以降）による落下、およびセクションの境を越えた落下のいずれも最上段からのみだった（図 2）。これは棚板の高さにより震動が異なり、高い位置ほど大きく揺れたためと考えられた。

落下した方位は力のかかった方向を示すと考えられる。なぜならば棚板が震動で動いた時に、棚板上の標本に棚板の震動方向とは見かけ上逆方向の慣性力がはたらくからである。ラックの最上段では南側に有意に多く標本が落下していた（表 1）。最上段が、最も大きくもしくは最も速く動いたと推察された。

当施設本館にも同じ構造のオープンラックが各分野の収蔵室に設置されていたが、どの収蔵室でもラックの転倒はなかった。地学標本は本館（2 階建）の 1 階の 7 部屋に保管されていた。植物標本収蔵室と同じ方向に、つまり東西に長くラックを連結していた収蔵室では、同様に南側への標本の落下が記録された。最上段から多くの標本が落下した点も同様だった。ラックに収蔵されていた標本は、岩石、化石、鉱物標本であり、さく葉標本と比べものにならないほど重い標本だったが、ラックからの標本の落下方位や標本が落下した棚板の高さは類似していた。

一方、ラックの配置が植物標本収蔵室のラックと垂直な方向に設置されていた地質標本収蔵室もあった。これらの収蔵室ではラックからの標本の落下はほとんどなく、ラック全体が標本を収蔵した状態で南側に約 0.75m 移動し、積みあげたコンテナに衝突して停まっていた。植物標本と地学標本の落下状況から、収蔵品の落下やラックの転倒などは、棚板上に収蔵していた品物の重量とは関係なく、地震動の卓越方位とラックの設置方向の関係に左右されると考えられた。

植物標本収蔵室では西側で 36 セクション、東側で 20 セクションが東西方向に長く上部で連結されていた。最上段では東側で標本の落下が有意に多かった（図 2）。この傾向は棚板の高さだけでなく室内の位置により揺れが異なったからかもしれないし、西側のほうでは多くのラックがつながっていたため、安定性が高かったのかもしれない。また建物の倒壊についての研究では、建物が揺れる周期と地震動の周期がある程度一致（共振）し、地面が大きく移動する時に建物が大きく変形することが分かっている（五十田, 2016）。東西それぞれ連結されていたセクション全体で一つのラックとして震動したと考えると、大きさの違うラックでは震動周期は同じではなかっただろうし、連結されたラックの中の位置によっても震動周期は異なっていただろう。地震動による床の震動とラックの震動の共振により一時的な変形がラックの一部で生じ、その共振や変形が標本の落下を促進した可能性も考えられる。

今後の対策についての考察

標本落下のほとんどは 2016 年 4 月 16 日の熊本地震の本震（最大震度 7）に起因していた。次の 3 つの理由で今回の落下数が抑えられたと考えられた。1. オープンラックがひとつも転倒しなかった。2. 箱に入れた状態の標本は落下しにくく、箱落下が起きた場合でも最上段からの 3 例しかなかった（表 1）。3. 簡易に設置した落下防止装置（図 3a と b）が有効に機能して 2016 年 4 月 19 日以降の落下数が少なかった。これらの結果から、今回の熊本地震の場合、高さ 1.4m 以下で収納、収納箱を利用、および落下防止装置の設置によって落下が効果的に防止できることがわかった。

地震への対策は、まず棚（ラック）の転倒の防止、続いて棚からの落下の防止が考えられる。まず転倒についてだが、本施設では、床や天井に固定されていなかったが、ラックはひとつも転倒しなかった。また、地学標本を収蔵したラックは棚ごと移動した。つまり、固定していなかったため棚が標本を収蔵した状態のまま全体に移動したため、落下標本数がすくなかったと考えられた。これらの事実から、床や天井への固定することが必ずしも標本の保護や管理に最善とは限らない場合もあることが示唆された。

続いて、棚からの落下防止だが、標本を収蔵する高さへの配慮、収納方法、落下防止装置の設置、が考えられる。収蔵する高さは、今回の結果から考えて、床から 1.4m 以下が望ましい。特に 2.0m 以上に収納する場合は、ひもなど落下防止の対策が必須である。

扉付きの棚からの落下はひとつもなかったため、収納方法としては、扉付きの棚への収納が最も望ましいが、ここではオープンラックに収納する場合について考えたい。平積みと比べて箱収納は、落下が少なく、特に、1.4m 以下の箱収納では落下がひとつもなかったため（表 1）、明らかに箱収納のほうが落下防止の観点からは望ましい。

平積みの標本が多数落下した原因として、ビニール袋は互いに滑りやすく、また塗装された棚板表面との間の摩擦も小さいことが考えられた。そこで、平積みでは、崩れないように複数の標本袋を紐でしばるなどのビニール同士の滑りを抑制する対策が考えられる。また、「棚板への滑り止めテープの貼付け」や「ラックへの落下防止装置の設置」は箱の落下防止にも効果があると考えられる。

今回設置した落下防止装置（図 3）は、箱収納と平積みのどちらの収納方法でも十分に有効であった。ただし、標本の利用や配架作業を考慮すると、ひもは着脱が簡単であることが望ましく、改良の余地がある。現在はフック付きの自転車の荷かけ紐（2m）を最上段のセクションに試用している。しかし、落下防止装置の設置後、余震による標本の落下はどのセクションからもないので、その効果は不明である。

現在、様々な理由から生物標本の収集・収蔵体制を充実させることが強く求められており（佐久間, 2011; 加藤, 2015; 海老原, 2016）、自然災害による生物標本の消失や損傷はできるかぎり防止しなければならない。しかし、収蔵施設には空間的および資金的な制約がある。そのような制約の中でより効率的な防災対策として、今回の結果から、収蔵する高さに留意し、1.4m より高い位置には落下防止策を施すことを提案したい。

謝 辞

本稿の執筆にあたり適切なお助言をくださった熊本県博物館ネットワークセンターの皆様、および本田光子氏、木川りか氏、浅野志穂氏、安田雅俊氏に深く感謝いたします。

引用文献

- 海老原淳. 2016. 21世紀のハーバリウム活用とその課題. 分類 16 (1):31-37.
- 布施静香・山本伸子・高橋晃. 2011. 東日本大震災により被災した植物標本のレスキュー—兵庫県立人と自然の博物館が果たした役割—. 人と自然 22:53-60.
- 五十田博. 2016. 2016年熊本地震で木造住宅はどう倒れたか. 科学. 86 (9):902-906.
- 加藤 真. 2015. 生物標本と生態学. 学術の動向 5月 24-29.
- 久米田裕子・坂田淳子・高鳥浩介・木川りか・佐藤嘉則・佐久間大輔. 2015. 津波による被災植物標本のカビ被害調査. 保存科学 54:75-82.
- 御巫由紀・尾崎煙雄. 2011. 各地の標本レスキューの取組から. 全科教ニュース 41:3-5.
- 小川 誠. 2012. 東日本大震災により被災した植物標本の修復. 徳島県立博物館研究報告 22: 161-168.
- 佐久間大輔. 2011. 博物館と生態学 (17) 自然史系資料の文化財的価値—標本を維持し保全する理由—. 日本生態学会誌 61:349-353.
- 鈴木まほろ. 2011. 陸前高田市立博物館収蔵押し葉標本のレスキュー. 全科教ニュース41:1-3.

Census of Herbarium Collections Fallen off from Storage Shelves during the 2016 Kumamoto Earthquakes

Akiko Yasuda, Tetsuya Maeda and Shino Hirota

1695 Toyofuku, Uki-shi, Kumamoto 869-0524, Japan

E-mail: aki@fieldnote.com

In the 2016 Kumamoto earthquakes, many collection bags of herbarium specimens fell down from the shelves of open steel racks with 4 stages. Most of the specimen were stored in plastic bags and placed stacked as piles, and the others were stored in paper boxes. A large proportion (95.2%) of fallen specimen bags were from the highest shelf (2.0m) and some from lower shelves of 1.4m and 0.8m. In the period of aftershocks, collections fell down only from the highest shelf. The specimen boxes fell down only from the highest shelf during the main shock. After the main shock, we made a fall prevention device using Styrofoam plate and paper strings (diameter of 2.8mm), which was simple but was effective to save the collection from aftershocks.