関西自然保護機構会報 17(2)：137－143，1995

原　著

火山噴出物が植物に与える影響

大阪府立大学農学部　平　野　高　司

EFFECTS OF VOLCANIC EJECTA ON PLANTS

Takashi HIRANO　*College of Agriculture, University of Osaka Prefecture.*

はじめに

わが国には世界の約１割にあたる83の活火山があり，平均すると１年に５つの火山が噴火していることになる（気象庁　1991）。最近では，1991年に雲仙・普賢岳が噴火し，火砕流による死者・不明者が43名にのぼる戦後最悪の火山災害となった。また，桜島は1955年以来頻繁に噴火を繰り返し，鹿児島市内では断続的な降灰が観測されている。一方，海外においても，1991年にはフィリピンのピナトゥボ山が今世紀最大規模の噴火を起こした。この大噴火により，山頂部は吹き飛び，噴煙の高さは30kmにも達した。

火山活動，特に噴火の際の噴出物により周辺の植物が様々な影響を受けることが，農作物を中心とした調査の結果，明らかとなっている。火山噴出物が植物に与える影響を分類したものを図１に示す。植物影響は，噴出物の植物体への接触の有無により，直接影響と間接影響に大別できる。直接影響は，火山砕屑物（火山灰など），溶岩，火山ガスなどの火山噴出物が植物体に直接接触することによって生じるものであり，発生機構により物理（機械）的，熱的および化学的影響に分類される。それに対して間接影響は，火山灰などにより土壌の物理・化学性が，また火山性エアロゾルにより気候がそれぞれ変化し，植物が間接的に影響を受けるものである。以下，直接影響，間接影響の順に概説する。

直接影響

ここでは，火山噴出物の種類別に植物影響の特徴を述べる。

直接影響	物理的影響	埋没	― 溶岩流，火山灰
		損傷（枝折れ，葉傷害など）	― 火山灰，火山礫，火山岩塊
		慢性影響（光合成低下など）	― 火山灰
	熱的影響	― 燃焼，高温傷害	― 火砕流，溶岩流
	化学的影響	水溶性成分	― 火山灰，火山性酸性雨
		火山ガス	― SO_2，HF など
間接影響	土壌影響	― 土壌の物理・化学性	― 火山灰，火山性酸性雨
	気候影響	― 日射量，気温	― 火山性エアロゾル

図１　植物に与える火山噴出物の影響の分類.

火山灰

固形の火山噴出物で破片状のものを火山砕屑物とよび，火山弾や火山灰が含まれる。そのなかで，火山灰は粒径が2mm以下のものとして分類される（荒牧　1992）。

噴火の性質や規模，気象条件（風向・風速）によって程度は異なるが，火山灰はかなり広範囲に降下，堆積する。一般的には，火山灰の堆積量は火口から50kmの距離で数十cm以下であるが，大規模噴火の場合には2～3mに達する（勝井　1992）。1980年のアメリカのセントヘレンズ山の噴火では，約400km離れた地点で75mm以上の降雨があった後にも，植物の葉面に多量の火山灰が付着しているのが観察された（Kennedy 1980）。

火山灰の堆積，付着は植物に物理的影響を与えるが，その量が多い場合には壊滅的な被害が生じる。なかでも深刻なのが埋没であり，丈の低い草本や農作物では，その被害は甚大となる。また，埋没まではいかなくても，葉面に大量の火山灰が堆積した場合には，その重さにより枝折れ，幹折れ，根返りなど，冠雪害と同様の被害が生じる。樹木の幹折れや根返りは致命的である。これらの被害は，火山灰が水分を含んで重くなるほど大きくなる。

このような明瞭に識別できる被害の他に，葉面に付着した火山灰は，その物理作用により光合成や蒸散などを変化させ，不可視害として植物に生理的影響を与える。火山灰の物理作用としては，1）葉面への光を遮る，2）気孔に入り込む，3）葉面の放射特性を変化させ葉温を上昇させる，4）摩擦により葉面ワックス層を磨耗する，などが問題となる（Hirano *et al*. 1995）。遮光作用は光合成を低下させる。気孔に入り込んだ火山灰も大気中のCO_2の葉内への拡散を阻害し光合成を抑制する。また，気孔の閉鎖を妨げることにより植物の環境ストレスに対する耐性を低下させ，火山ガス（後述）や水分欠乏による被害を助長する。葉面の火山灰は日射吸収量を増加させ葉温を上昇させるが，桜島の火山灰を付着させたキュウリの葉では3℃以上の葉温上昇が測定された（平野ら　1992）。葉温上昇は蒸散を促進するとともに光合成に影響を与える。さらに，葉面ワックス層の磨耗はクチクラ蒸散を促進する。火山灰が葉面に長時間付着した場合には，慢性的な光合成低下にともなう成長の悪化，蒸散の増大の結果としての水分バランスの乱れなどが顕在化すると考えられる。なお，火山灰の多くは降雨により葉面から除去されるが，毛茸周辺や気孔内には降雨後も火山灰粒子が存在することが報告されている（山本ら　1980，平野ら　1992）。また，火山灰による長期の遮光により，葉の厚みの減少（三浦ら　1993）といった陰葉化が起こることも報告されている。

火山礫，火山岩塊

火山砕屑物のなかで，粒径が火山灰より大きいものが火山礫や火山岩塊に分類される。これらは落下の衝撃により植物に物理的障害を与える。火山岩塊の破壊力は大きく，有珠山の1977年の噴火では，火口から1～2km離れた地域で30～40cm



図2　雲仙・普賢岳の火山礫によって穴の開いたカキの葉（1991年6月に島原市千本木地区で撮影）．

の岩塊によって直径70cmの樹幹が折られた（勝井 1992)。また，雲仙・普賢岳の噴火では，火口から約4km離れた島原市千本木地区において，火山礫の落下によって葉に穴の開いた植物が多数観察された。図2にカキの葉の障害の様子を示す。このような障害を受けたカキでは，生理的落果により収穫量は皆無となった。

火砕流，溶岩流

火砕流とは高温の火山灰とガスの混合物が高速度で斜面を流下する現象であり，1991年の雲仙・普賢岳の爆発による人的被害の原因である。一方，溶岩流とは地上に噴出したマグマの流れであり，その温度は数百～1,200℃にもなる（勝井 1992)。これらの火山噴出物の流路に存在する植物は焼失，埋没により壊滅状態となる。また，流路周辺の植物も極度の高温障害を受ける。延焼によって山火事が発生する場合には，被害は広範囲に及ぶ。

火山ガス

火山ガスとはマグマに含まれる揮発性物質がガス化して噴出したものであり，その大部分を水蒸気が占める。火山ガスの成分は，水蒸気以外ではCO_2，HF（フッ化水素)，HCl（塩化水素)，SO_2（二酸化硫黄)，H_2S（硫化水素)，N_2，H_2などであるが，その組成は火山ごとに異なる。また，同一火山でも時間とともに組成は変化する。一般的には，火山活動が激しく火口（噴気口）の温度が高い場合にはHF，HCl，SO_2の含有率が高いが，低温になるにしたがいそれらの割合が低下し，CO_2，H_2S，N_2が火山ガスの主体となる（松尾 1992)。

一般に，毒性のあるガス状物質は植物の葉面に存在する気孔を通して葉内に吸収され，細胞内で亜硫酸や活性酸素のような毒性物質を生成する。毒性物質は基本的な生理機能である光合成を阻害して成長を抑制する（不可視害)。さらに，クロロフィルや生体膜を破壊して細胞の壊死(可視害)を引き起こし，落葉・落果，枯死に至る。植物には毒性物質を解毒するための代射系が存在するため，低濃度ガスの短時間の接触では，ガスが除去されれば光合成は回復する。このように，ガス状物質による生理機能障害や可視害の程度は，吸収量と解毒作用に依存し，ガスの種類や濃度，植物種，植物の齢や成育環境によって異なる。また，ガスに接触するときの条件によっても障害の程度は異なり，暗所や乾燥条件では気孔開度が小さいためガスの吸収が抑制され，障害が軽くなることが知られている（近藤・佐治 1992)。

上述の火山ガスのなかで植物への影響を考慮する必要のあるものは，HF，SO_2，HCl，H_2S，CO_2であろう。以下，それぞれの特徴を簡単に述べる。なお，火山ガス濃度の測定例として，桜島の火口から4～5km離れた野尻町（西岸）と黒神町（東岸）における昭和55年～61年のHF，SO_2，HClの月平均濃度（古江ら 1987）を表1に示す。全

表1 桜島における各種火山ガスの月平均濃度範囲（1980～1986年，古江ら(1987)より)．

	SO_2 (ppm, 実測値)		HCl (ppm, 推定値)		HF (ppb, 推定値)	
	野尻町	黒神町	野尻町	黒神町	野尻町	黒神町
濃度範囲	0.002～0.090	0.000～0.050	0.000～0.054	0.001～0.046	0.03～1.55	0.04～1.31
平均値	0.024	0.012	0.011	0.010	0.37	0.35
最高値*	1.0<		0.5<		20<	

*1時間値

てのガスで月平均濃度の範囲がかなり広いが，これは火山活動の不連続性と風向（季節風）の変化によるものである。

HF は毒性の高いガスであり，窯業における発生量が多い。サクラやソバなどの感受性の高い植物は 5 ppb 以下の 7 ～ 9 日間の処理により可視害が生じることが報告されており（祐田・山添 1981），月平均で 1 ppb 以上，1 時間値で20ppb 以上となる状況（表 1 ）ではかなりの障害が発生したものと考えられる。また，植物に吸収された後の F（フッ素）の毒性も高く，HF を吸収して F 含有量が高くなったクワの葉や牧草を食べたカイコや家畜が死亡することがある（松島 1989）。自然生態系についても同様の被害が発生するものと考えられる。

SO_2 は代表的な大気汚染物質であり，化石燃料の燃焼をともなう様々な産業活動によっても大気中に大量に放出される。植物の可視害は，濃度が 1 ppm の場合，高感受性植物では 1 ～ 4 時間で，中程度の感受性植物でも 4 ～ 8 時間程度で発生する。また，成長への影響を考慮して植物保護を目的に西ドイツで提案された環境基準は，年平均濃度を，モミやトウヒなどの感受性の高い植物に対して 0.023ppm，マツやブナなどの中程度の植物に対して 0.035ppm，コナラやサクラなどの鈍感な植物に対して 0.050ppm，と定めている（戸塚 1979）。したがって，1 時間値で 1 ppm 以上，平均値で 0.240ppm となる野尻町では，急性的な可視害，慢性的な成長阻害とも相当大きかったと推測される。

HCl は HF に比べると毒性が弱く，単に酸性障害を及ぼすだけであるといわれている。0.05ppm の90時間処理によってもポプラやニセアカシアに軽度の可視害が発生する程度である（祐田・山添 1981）。

H_2S は人間にとっては猛毒であるが，植物に対する毒性はそれほど高くない。可視害のしきい値は，ソバやトマトのような高感受性植物で40ppm の 5 時間処理であり，300 ppb の連続処理によって成育が悪化する（松島 1989）。なお，休火山地帯には H_2S を含む水蒸気の噴出孔（硫気孔）があるが，その周辺には一般植物は侵入できず，ヤマタヌキランのような特殊な植物が成育している。

CO_2 は光合成の基質であり，植物が生存するうえで必要不可欠である。大気中の CO_2 濃度の上昇は光合成を活発化し，その結果として植物の成長を促進する。ところが土壌中では，CO_2 濃度の上昇は植物の根の呼吸活性を低下させることにより植物の成育に悪影響を与える。火山ガスのなかで水蒸気に次いで含有率が高いのが CO_2 であり，前述のように火山活動が低下するにしたがい CO_2 の割合が高くなる。休火山であるアメリカのマンモス山では，山の斜面からしみだした火山ガスにより土壌中の CO_2 濃度が30～96％まで上昇し，30 ha にわたって針葉樹が枯死した（Farrar *et al.* 1995）。畑地における土壌中の CO_2 濃度が通常数％以下であることを考えると，上記の濃度がいかに高いかがわかる。

火山性酸性雨

桜島の周辺では，火山噴出物の影響を受けて pH の低下した降水（火山性酸性雨）がしばしば観測される。なかでも，1987年 6 月に鹿児島市で観測された降水は，pH 2.5であり，日本で観測された降水のなかで最も pH の低いものである。このような火山性酸性雨の特徴は，火山ガスのなかでも反応性の強い HCl と HF の影響により Cl^- と F^- の含有量が多いことである（玉置・小川 1991，藤田 1993）。

ガス状物質が，気孔を通じて葉内に吸収されて植物に影響を与えるのに対して，酸性雨は葉表面に接触し，そこに分布するクチクラに直接被害を

与える。酸性雨による植物の被害は，一般的には，降水のpHに依存し次のような過程で進むと考えられる（平野・相賀 1994)。まず，蒸発にともなう濃縮により葉面に付着した雨滴のpHが低下し，クチクラの最外層である表面ワックスが化学的に侵食される。クチクラは植物を保護するバリアーとしての役割をもっているが，表面ワックスの侵食により保護機能が低下し，透過性が増大する。その結果，クチクラを通じての蒸散やカチオン溶脱が促進され，植物が水や養分のストレスを受けやすくなる。クチクラの透過性増大により病原菌や昆虫に対する抵抗性も低下すると考えられている。なお，酸性雨による可視害は植物の葉や花弁に発生し，葉では陥没型の壊死斑点や黄色化，花弁では脱色斑点として現われる。葉での壊死は，バリアー機能の低下したクチクラを透過した酸性雨が表皮細胞やその下の柵状組織を破壊することによって生じる。

山口ら（1988）は上述のpH 2.5の火山性酸性雨による植物被害について現地調査した。それによると，葉の可視害には種間差があり，落葉や壊死などの可視害が認められた樹木は，イヌマキ，クスノキ，ツツジ，ウメなど針葉樹から広葉樹，常緑樹から落葉樹の多くの種類に及んだが，ツバキ，クロガネモチ，カイヅカイブキなどでは可視害は認められなかった。また，多くの農作物においても葉に可視害が観察された。これらの可視害の原因としては，その特徴から，降水のpHが低かったことだけでなくF^-の影響も推測された。

間接影響

火山灰が土壌の物理・化学性に与える影響

土壌表面に堆積する火山灰の物理・化学性は，その堆積量と同様に火山の種類，噴火の規模などにより変動するが，桜島と雲仙・普賢岳については一般的な土壌と比較して，1）間隙率が小さく通気性および透水性が低い（鈴木ら 1993，平野ら1994)，2）水分を含むと硬く締まる（宮内・長田 1983)，3）水溶性成分（SO_4^{2-}，Cl^-，F^-）を多く含む（市来ら 1982)，といった物理・化学的特徴をもつ。

通気性の低い火山灰が土壌表面に堆積すると，植物の根や土壌微生物の呼吸によって消費されるO_2の大気からの補給，および発生するCO_2の大気への放散が抑制され，土壌空気のO_2濃度が低下し，CO_2濃度が上昇する。このような現象は火山灰が湿った条件で顕著となる（平野ら 1994)。上述のように，土壌空気のO_2濃度低下，CO_2濃度上昇は植物の根の呼吸活性を低下させる結果となる。また，透水性が低下することにより土壌への降水の浸透が抑えられ，土壌の水分条件が悪化すると考えられる。一方，火山灰は，新鮮な乾燥した状態では「さらさら」しているが，水分を含むと硬く締まり，火山灰中および火山灰の下の土壌中での発芽や根の伸長を抑制し，植物の成長を悪化させる（館野 1993)。しかし，火山灰中においてもノシバの初期成長は良好であり，このような植物は火山灰堆積地の植生回復に利用することができる（小川 1993)。なお，火山灰は有機質を含まないため，火山灰を土壌に混入した場合，保水力および微生物活性の低下といった問題が生じる（宮内・長田 1983)。

火山灰は，その表面に付着したSO_4^{2-}やCl^-などの水溶性成分が降水に溶出し，土壌中へ浸透することにより，土壌および地下水を酸性化する。このことは火山性酸性雨についても同様である。土壌の酸性化は，植物の成長に必要な交換性塩基の土壌からの溶脱，有害なAl^{3+}の土壌溶液への溶出，土壌微生物の減少および機能低下などを引き起こす（吉田 1990)。

火山性エアロゾルが気候に与える影響

火山噴火の規模が大きい場合には，放出された火山灰や火山ガス（SO_2 など）は成層圏（約10km以上）にまで達する。火山灰のうち，粒径の大きなものは比較的短時間のうちに重力落下するが，粒径の小さい（1μm以下）微粒子（固体）は落下速度が遅く長期間（数ケ月～2年程度）成層圏に滞留し，地球規模で拡散する。また，SO_2 などのガス状物質は化学変化により微小な硫酸粒子（液体）などに変質し，成層圏に滞留する。このような微粒子は火山性エアロゾルとよばれる（気象庁 1994）。1991年のピナトゥボ山の大噴火では，今世紀最大量の火山性エアロゾルが成層圏に注入された（McCormick *et al.* 1995）。

成層圏に滞留する火山性エアロゾルは，太陽光を散乱，吸収するため，直接地表面に到達する直達日射量を減少させる（日傘効果）。しかし，その分，散乱日射量が増加するため，地上に到達する全太陽エネルギー（全天日射量）の減少は直達日射量ほどではない。ピナトゥボ山の大噴火により，日本では冬季に18%程度の直達日射量の減少が観測された。このような日傘効果は地上の気温を下げる方向に作用する。一方，火山性エアロゾルは，地表面や下層大気からの赤外放射を吸収し再放射することにより地上気温を上昇させる（温室効果）。火山性エアロゾルが地上気温に与える影響は，このような日傘効果と温室効果のバランスによるが，最近では「地上気温は低下する」という考え方が支配的である（気象庁 1994）。なお，火山性エアロゾルがオゾン層の破壊に寄与しているという報告もある（McCormick *et al.* 1995）。

日射の減少や気温の低下といった気候変化（異常気象）は，植物に様々な影響を与えると考えられるが，現在のところ気候変化自体に未解明な部分が多く残されており，植物に与える影響は明らかではない。

おわりに

以上のように，火山噴出物は植物に様々な影響を与えるが，植物の成長という点から考えると，それらはほとんどが負の影響，つまり被害ということになる。さらに，農林業（植物生産）では全てが被害であり減収に結びつく。しかし，火山の噴火は自然現象であり，その被害を回避することは困難である。

引用文献

荒巻重雄．1992．火山砕屑物と火砕岩．「火山」（横山泉・荒牧重雄・中村一明編），142－153．岩波書店，東京．

Farra, C. D., Sorey, M. L., Evans, W. C., Howle, J. F., Kerr, B. D., Kennedy, B. M., King, C. Y. & Southon, J. R. 1995. Forest-killing diffuse CO_2 emission at Mammoth Mountain as a sign of magmatic unrest. Nature, 376：675－678.

藤田慎一．1993．火山活動と環境の酸性化．大気汚染学会誌，28：72－90.

古江広治・上村幸廣・宇田川義夫．1987．桜島火山ガス降下の実態．鹿児島県農試研究報告，15：23－33.

平野高司・清田　信・関　和雄・相賀一郎．1992．雲仙普賢岳と桜島火山灰の付着がキュウリの葉温と気孔コンダクタンスに与える影響．農業気象，48：139－145.

――――・関　和雄・清田　信・相賀一郎．1994．雲仙普賢岳火山灰の土壌への堆積がキュウリの成長および根圏ガス環境に与える影響．農業気象，49：273－277.

――――・相賀一郎．1994．酸性雨の植物への影響．環境技術，23：728－732.

Hirano, T., Kiyota, M. & Aiga, I. 1995. Physical

effects of dust on leaf physiology of cucumber and kidney bean plants. Environ. Pollt., 89：255－261.

市来征勝・小原秀雄・森田重則. 1982. 桜島火山降灰が農耕地土壌の理化学性に及ぼす影響. 鹿児島県農試研究報告, 10：1－45.

勝井義雄. 1992. 噴火災害. 「火山」（横山泉・荒牧重雄・中村一明編), 83－99.岩波書店, 東京.

Kennedy, R. A. 1980. Ash from Mt St Helens. Nature, 287：581.

気象庁. 1991. 活火山の追加と最近の火山活動. 気象, 35(5)：13－15.

———. 1994. 火山噴火及び太陽活動と気候. 「異常気象レポート '94」, 201－219, 大蔵省印刷局, 東京.

近藤矩朗・佐治　光. 1992. 植物の大気汚染耐性. 大気汚染学会誌, 27：273－288.

松尾禎士. 1992. 火山ガス. 「火山」（横山泉・荒牧重雄・中村一明編), 121－132. 岩波書店, 東京.

松島二良. 1989. 園芸大気環境論. 養賢堂, 東京, 191 pp.

McCormick, M. P., Thomason, L. W. & Trepte, C. R. 1995：Atmospheric effects of the Mt Pinatubo eruption. Nature, 373：399－404.

三浦周行・吉田　澪・山崎　篤. 1993. 野菜の光合成に及ぼす降灰の影響. 九州農試研究資料, 79：55－60.

宮内信文・長田智子. 1983. 桜島の降灰が土壌におよぼす影響について. 鹿大農学術報告, 33：221－227.

小川恭男. 1993. 火山灰堆積地の植生回復. 九州農試研究資料, 79：41－47.

鈴木勝征・後藤明彦・高辻豊二・緒方達志・清水国広. 1993. 火山灰がカンキツ樹園地土壌に及ぼす影響. 九州農試研究資料, 79：49－ 53.

玉置元則・小川　功. 1991. 地上から見た日本の酸性雨－酸性雨調査・研究で得られた成果と今後の課題－. 大気汚染学会誌, 26：1－22.

館野宏司. 1993. 火山灰が飼料作物の発芽・生育に及ぼす影響. 九州農試研究資料, 79：33－40.

戸塚　績. 1979. 植物の生長に及ぼす二酸化硫黄の影響. 国立公害研研究報告, 10：317－341.

山口武則・大政謙次・宝来俊一・藤井國博. 1988. 火山性酸性雨による植物被害－桜島近辺の場合－. 農業気象, 44：219－223.

山本良三・江幡守衛・河野恭広・田代　亨・石川雅士・吉田正夫. 1980. 1979年御岳噴火の降灰による農林地の被災の調査ならびに降灰実験. 日作東海支部梗概, 89：1－8.

吉田　稔. 1990. 酸性土壌の化学. 「酸性雨－土壌・植生への影響」（環境庁編), 12－18. 公害研究対策センター, 東京.

祐田泰延・山添文雄. 1981. ハロゲン化合物.「大気汚染の植物影響に係る環境影響評価マニュアル」, 357－427. 日本公衆衛生協会, 東京.