

特集「緑化用種苗のトレーサビリティをいかに確保するのか —阿蘇における復元と種苗確保の取り組み」

阿蘇周辺自然公園の草原再生に関する種苗の使用範囲について の見解

生態・環境緑化研究部会*

1. はじめに

阿蘇地域では、これまでも、白川水害(1953)や一宮水害(1990)等による大規模な斜面崩壊が発生してきた。昨今では平成24年7月九州北部豪雨、平成28年熊本地震によるものが記憶に新しい。

平成24年7月九州北部豪雨で発生した斜面崩壊地に関し、5年が経った現在においても未だ植物の侵入・定着がほとんどなく、裸地の状態となっているところも少なくない(写真-1)。こういったところでは、修景上の問題をはじめ、風雨や土壤凍結等による被害の拡大、そしてこれに伴い生態系の改変が閾値を超えるようなことになれば、外来種の侵入も危惧される。

「緑化」は、上記したような崩壊地の植生遷移を促すきっかけとして有効な手段になるわけだが、立地や地域によっては地域性種苗の利用がつつよく望まれる。阿蘇地域の多くもそれに該当する。そこで、“阿蘇小規模崩壊地復元プロジェクト”では、阿蘇地域の斜面崩壊地の緑化に向けて、中江牧野組合ならびになみの高原やすらぎ交流館の協力のもと、荻岳(阿蘇波野)においてススキ種子の採取を行ってきた。また、阿蘇の地域資源の有効活用の一環として、これらのススキ種

子を平成28年熊本地震で被災した全ての地域、さらには平成29年7月九州北部豪雨の被災地(たとえば福岡県朝倉市や大分県日田市)など、より広い地域にも提供できればと考えている。

本稿では、まず、阿蘇における災害と自然再生および緑化目標について触る。次いで、阿蘇波野で採取したススキ種子の使用可能範囲について、既往の遺伝的知見を踏まえてその見解を述べてみたい。

引用・参考文献

- 1) 大丸裕武(2013) 2012年7月の九州北部豪雨によって阿蘇地域で発生した土砂災害. 水利科学 331: 1-12.
- 2) 森本淳子・内田泰三(2014) 外来種と植生管理. 日本緑化工学会誌 40(2): 301.
- 3) 吉田 寛(2016) 環境区分をベースとする斜面緑化の計画検討の必要性. 日本緑化工学会誌 42(2): 352-3525.
- 4) 日本緑化工学会生態・環境緑化研究部会(2018) 阿蘇小規模崩壊地復元プロジェクトの2017年活動報告. 日本緑化工学会誌 43(3): 457-458.

(以上文責: 内田泰三)



写真-1 阿蘇ススキ草原における斜面崩壊地



2. 阿蘇における災害と自然再生および緑化目標について

2.1 平成24年7月九州北部豪雨および平成28年熊本地震による被害と対策、復興への取り組みについて

阿蘇地域は東西に約18 km、南北に約25 km、面積約380 km²のカルデラ地形であり、カルデラ底部の標高は約400 m～500 m、カルデラ壁は約300 m～600 mの比高を持つ急崖地形を呈している。

2012年7月11日から14日にかけて九州北部を中心に発生した平成24年7月九州北部豪雨（以降、2012年豪雨という）では、熊本県内で多くの被害や土砂移動が発生した¹⁰。2012年豪雨は記録的な降雨となり、(1) 太平洋高気圧が普段より西側に張り出し、その縁を回るように吹いた南西風が多量の水蒸気を九州北部に運び込み次々と積乱雲を発達させる「バックビルディング現象」により豪雨が阿蘇谷を含む九州北部に発生したこと、(2) 気象庁阿蘇乙姫アメダス観測所では1時間雨量108.0 mm、最大24時間雨量507.5 mmを観測するなど阿蘇谷内では観測史上最大規模の降雨がもたらされたこと、(3) 気象庁阿蘇乙姫アメダス観測所では80 mm超の豪雨を4時間連続で観測するなど阿蘇谷において短期間で猛烈な集中豪雨がもたらされたこと、(4) 災害発生前の6月の雨量は平年値及び平成2年の一の宮災害の際の雨量よりも大きく、豪雨発生前から地盤自体が多量の地下水を含む状況にあったこと、が、災害多発の誘因となったと報告されている。

2012年豪雨では、特に阿蘇地域（阿蘇市、高森町、南阿蘇村）においては土石流やがけ崩れなどの土砂災害が多発し、熊本県内で発生した108件の土砂災害のうち85件が阿蘇地域で発生した。カルデラ壁の急斜面の崩壊を源頭部とする土石流が発生するとともに、中央火口丘の北側斜面においては牧野を源頭部とする多数の表層崩壊が発生した。特に火山灰を主体とするカルデラ内の草地、林地の斜面において表層崩壊が発生したと報告されている^{8,10}。阿蘇カルデラでは、中央火口丘群の中腹は牧草地として土地利用がなされている。牧草地内では表層崩壊が多く発生し、その崩壊土砂の一部が土石流化した。

また、2016年には平成28年熊本地震が発生した。4月14日にマグニチュード6.5の地震（前震）が、4月16日にはマグニチュード7.3の地震（本震）が発生、これらの地震ではいずれも最大震度7を観測した。国土交通省の調査では⁷、地震に伴う土砂災害発生件数は190件（土石流等：57件、地すべり：10件、がけ崩れ：123件）と報告されており、その後の6月19日から25日に発生した梅雨前線豪雨により被害が更に拡大した。熊本県のとりまとめでは、公共土木施設（国・県・市町村管理）の被害は道路2,097箇所、河川636箇所、下水道410箇所、橋梁169箇所など計3,406箇所であったと確認されている⁹。国は熊本地震を激甚災害に指定し、さらに災害関連緊急傾斜地崩壊対策事業、災害関連地域防災がけ崩れ対策事業の採択要件を緩和し、土砂災害に対して直轄1箇所、補助331箇所、合計332箇所（2017

年3月8日現在）の災害関連緊急事業を実施している。

阿蘇くじゅう国立公園阿蘇地域でも地震による草原、湧水・温泉等への被害が報告されており、公園内の被害状況や地元住民の意向・要望等に関する調査が環境省九州地方環境事務所により行われた⁵。空中写真の判読による草原等における土砂移動、亀裂分布図の作成、牧野組合長を通じた被災状況と復旧・復興に関する意向把握調査、関係者ヒアリング等による湧水・温泉への影響把握などを行った。調査では全体の64%の牧野組合が、地震により牧野に被害が出たと回答した。

阿蘇地域の自然景観や文化財を含めた観光資源、道路や鉄道、宿泊施設にも被害が発生しており、住民の生活に影響があったことももちろん、観光産業をはじめとする地域経済にも大きな影響があった。草原の斜面崩壊や地割れ、飼養施設や牧野道の被害による農畜産業や草原景観の維持への影響も懸念される。地震からの復興にむけて、「国立公園「阿蘇」みらい創造懇談会」がまとめた提言書⁴では「阿蘇の観光も人の営みによって形づくられた広大な草原景観によって支えられていることから、これをしっかりと維持するため、これまでの草原再生の取り組みを継続することはもちろん、さらに将来につながる発展的な取り組みに挑戦していくことが重要である。」と述べられている。また、熊本県が策定した「平成28年熊本地震からの復旧・復興プラン」⁹では「新たな熊本創造に向けた概ね4年間の取組み」の施策が13項目上げられ、その中のひとつ、「未来へつなぐ資産の創造」で「くまもとの誇りの回復と宝の継承—熊本城や阿蘇神社など文化財の修復、および、阿蘇の草原再生・地下水と土を育む取組みの推進」をあげている。

これまで進められてきた、農畜産業の継続や草原の維持、再生について、多様な草原環境を取り戻そうとしてきた阿蘇草原再生協議会による「野草地保全・再生事業実施計画」²や、阿蘇地域世界農業遺産推進協議会¹¹による「GIAHSイニシアティブアクションプラン」などにより提唱され、取り組んできた活動を維持、拡大していくことが望まれている。

2.2 阿蘇の草原における自然再生について

阿蘇の草原再生に関わる指針として、阿蘇草原再生全体構想（以降構想という、阿蘇草原再生協議会）、第二期阿蘇草原自然再生事業 野草地保全・再生事業実施計画（以降実施計画という、環境省九州地方環境事務所）の内容から自然再生および緑化に関わる部分を紹介する²。

実施計画は、阿蘇草原再生協議会において検討され、環境省九州地方環境事務所が野草地の維持管理を行っている牧野組合、土地所有者である地元市町村及び公園管理団体である（公財）阿蘇グリーンストックと協働で、計画・事業の実施を行うために取りまとめて平成25年3月に発表されたものである。

2.2.1 「阿蘇の草原」について

実施計画「第2章 野草地保全・再生事業の対象となる区域と対策の方向性、2-1. 阿蘇地域の自然環境の概要、では（部分引用）阿蘇の草原は、人が手を入れることにより維

持されてきた半自然草地（二次草原）である。総面積は概ね22,000 ha（2011年阿蘇草原維持再生基礎調査/熊本県）であり、約7割はススキやネザサなど元々この地方に生育する植物により形成されている野草地である。」と述べられている。阿蘇カルデラ周辺地域に分布する半自然草原、野草地については大枠ではこの「阿蘇の草原」が二次的な現植生、周辺植生であると言える。

2.2.2 阿蘇の草原における自然再生の対象地域

阿蘇草原再生の対象植生として、人工草地を除き、「野草地」の保全・再生・維持管理を目指すとしている（構想第1章）。また草原再生の対象区域は「阿蘇郡市内の草原」とし、活動対象区域（「阿蘇草原地域」）は熊本県阿蘇市及び阿蘇郡（南小国町、小国町、産山村、高森町、西原村及び南阿蘇村）内の草原及びその周辺で、過去に草原だった場所を含むとしている（図-1、実施計画p3）。

また、計画2-3.では対象区域について「本計画では、「阿蘇草原再生全体構想」で定められた対象区域のうち阿蘇草原再生協議会に参加する牧野組合が管理する野草地を対象区域とする。」としている。ここに示された「保全対象区域」内が「阿蘇の草原」再生対象地域の範囲ということになる。

2.3 阿蘇地域における自然再生、緑化方針について

阿蘇の再生対象地域の多くが阿蘇くじゅう国立公園に含まれる地域である。また、今回熊本地震の影響を受けた地域や近隣には耶馬日田英彦山国定公園や金峰山などいくつかの県立自然公園がある。これらの地域やその周辺で事業を行う際には、環境省により2015年に作成された「自然公園におけ

る法面緑化指針³⁾（以降指針という）を参照することが望まれる。指針の4. 基本理念に基づく方針の中では前提条件として、「地域固有の生態系に配慮し、植物を導入する場合は原則として地域性系統の植物のみを使用すること。」とされている。

生態・環境緑化研究部会が行っている阿蘇小規模崩壊地復元プロジェクトやその他の植物を利用、活用する目的で植物材料、種子等を採取して地域内で使用する場合、地域性系統と言えるかどうかの判断資料が必要となる。また、対象地域における目標植生等について、阿蘇周辺地域、阿蘇の草原再生に適用するとした場合の内容について、指針に沿って整理した。

2.3.1 最終緑化目標

指針では最終緑化目標として、「施工対象地域の植生と同様・同質の植物群落（施工対象地域に自然分布する個体群のみからなる植物群落）を最終緑化目標として設定すること。」とされている。阿蘇周辺地域の草原を対象地域とする場合、緑化目標となる植生群落は構想および実施計画にある「保全対象区内にある阿蘇の野草地と同質の植生」になると考えられる。

2.3.2 初期緑化目標

指針では初期緑化目標として、「施工対象地域に自然分布する種、および在来の自然侵入種で形成され、外来植物が過度に繁茂することなく、最終緑化目標に向けた遷移が見込める植物群落を初期緑化目標として設定すること。」とされている。阿蘇周辺地域では、「阿蘇の草原に自然分布する個体由来から構成される植物群落」が初期緑化目標となると考えられる。

2.3.3 阿蘇の草原再生における留意点

なお、阿蘇カルデラには良好に残された草原植生が存在し、周辺からの種子の侵入が期待できる対象地も多くあるため、自然の改変を最低限にとどめるとともに、現地の状況に応じて現地採取土壌を活用する、周辺に生育する草本を活用するなど、周辺植生との調和をはかりながら柔軟に資材や工法を検討することも重要である。また事業計画にあたっては、指針3. 基本理念に「3) 自然回復の順序を尊重する。」とあるとおり、遷移の段階に応じた環境修復を図ることが望ましく、そのためには植物材料を確保するための準備工を策定・実施する、複数年にわたる計画を立てて事業を行う、自然侵入促進工+次年度の追播工の組み合わせを行うなど、段階的な施工等柔軟性のある事業の実施を計画し、適応的に実施することが好ましいと言える。

引用・参考文献

- 1) 阿蘇地域世界農業遺産推進協議会。（2013年5月）“GIAHS イニシアティブアクションプラン” <http://www.giahs-aso.jp/>
- 2) 環境省（2013年3月）阿蘇草原自然再生事業 野草地保全・再生実施計画。および（2014年3月）阿蘇草原再生全体構想（第2期）、九州地方環境事務所、環境省自然再生推進法。 <https://www.env.go.jp/nature/saisei/law-saisei/>

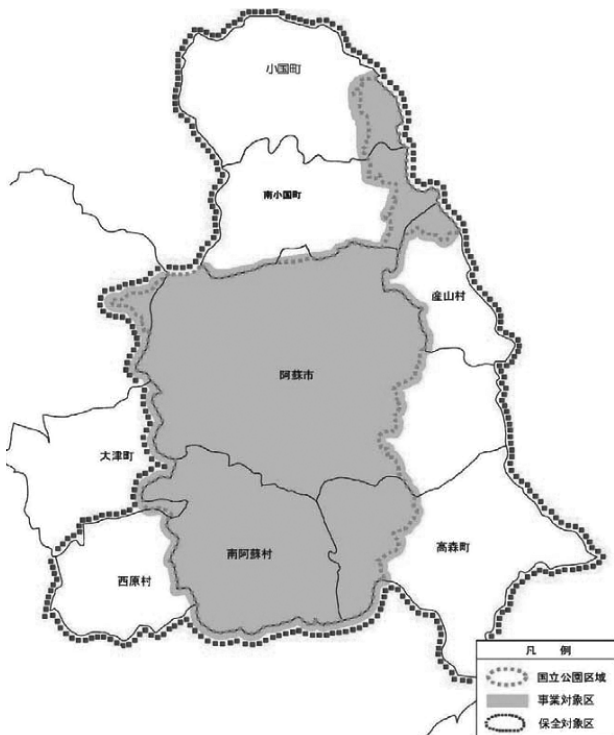


図-1 保全対象の地域 阿蘇草原自然再生事業 野草地保全・再生事業実施計画²⁾より

index.html

- 3) 環境省. (2015 年 10 月 27 日) “自然公園における法面緑化指針の策定について”. 環境省ホームページ. <http://www.env.go.jp/press/101554.html>.
- 4) 環境省九州地方環境事務所. (2016 年 7 月 15 日) “国立公園「阿蘇」みらい創造懇談会からの提言について”. 環境省ホームページ. http://kyushu.env.go.jp/to_2016/post_63.html.
- 5) 環境省九州地方環境事務所. (2016 年 7 月 28 日) “平成 28 年熊本地震による土砂移動及び亀裂分布図のダウンロードについて”. 環境省ホームページ. http://kyushu.env.go.jp/to_2016/28_2.html.
- 6) 国土地理院. (2016 年 7 月 27 日) “平成 28 年熊本地震・空から見た (航空写真判読による) 土砂崩壊地分布図”.

- 国土地理院平成 28 年熊本地震に関する情報. <http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html>.
- 7) 国土交通省. (2016 年 9 月 14 日) “平成 28 年熊本地震による土砂災害の概要 (H 28. 9. 14 時点)”. 国土交通省ホームページ. http://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/h28_dosha/h28_kumamotojisin.html
- 8) 久保田哲也ほか (2012) 平成 24 年 7 月九州北部豪雨による阿蘇地域の土砂災害. 砂防学会誌, 65(4): 50-61.
- 9) 熊本県. (改訂: 2016 年 12 月 27 日) “平成 28 年熊本地震からの復旧・復興プラン”. 熊本県ホームページ. http://www.pref.kumamoto.jp/kiji_16643.html
- 10) 熊本県土木部 (2013) 阿蘇地域土砂災害対策検討委員会報告書. 熊本県, 74 pp.

(以上文責: 中村華子, 橘 隆一)

3. 既存の知見から考察する草原構成種ススキの「地域性」についての見解

環境省 (2015) 「自然公園における法面緑化指針」(以降, 指針と書く) においては, 地域性系統の植物とは, 「在来植物のうち, 気候や地形などの影響により遺伝子型を共有する集団で, 遺伝子型とともに, 形態や生理的特性などの表現型や生態的地位にも類似性, 同一性が認められる集団をさす。」と定義されている。また, 「遺伝的変異の大きさや変異が生じている地理的な距離は種によって異なり, また, 遺伝的変異が明らかにされていない種が多いため, 植物個別の地域性を考慮して共通する地理的範囲を統一的に示すことは, 現時点では困難である。そのため, 本指針では, 地域性系統の植物の地理的範囲は「当該自然公園内の可能な限り施工地に近い場所から, 施工地と類似する環境に生育する種を採取する」ことを基本とする」と書かれている。

具体的な採取範囲の設定については, 「流域区分による地理的範囲の考え方」として, まずは同一単位流域内で採取することを優先し, 不足する場合は同一河川流域内, さらに不足する場合は同一水系流域内へと範囲を徐々に広げる方法が提示されている。ただし, 地域性系統の植物とみなす最大の地理的範囲は, 「同一公園内の同一国土区分」内とされている。また, 地理的範囲に加え, 地形や植生などを考慮して, 施工地と同様の立地条件となる場所で採取することが図内に補記されている。

上記の「流域区分による地理的範囲の考え方」は, 生態系への影響を可能な限り低減するための予防的思想に基づいており, 対象植物の遺伝的地域性に関する情報が不足している場合には合理的であると考えられる。一方で, 対象植物の遺伝的地域性に関する科学的情報が豊富な場合には, 科学的知見に基づいて採取範囲を検討することも十分に可能であると考えられる。実際, 2015 年には遺伝解析結果に基づいて, 有用樹種を中心とする 43 種の木本植物を対象とした種苗移動ガイドライン⁹⁾が発行されており, これらの樹種に関しては遺伝的多様性に配慮した種苗移動の検討が容易になっている。阿蘇草原の自然再生の場合, 草原を構成する多くの種に

ついては遺伝的地域性に関する情報が不足している一方で, ススキ (*Miscanthus sinensis* Andersson) については地域性系統を検討するための科学的情報が比較的豊富にそろっており, 遺伝解析結果に基づいて地域性系統の地理的範囲を検討することが可能であると考えられる。

現在得られているススキの遺伝的地域性に関する科学的知見は下記の通りである。

日本全国の国立公園 26 集団と国立公園外の沖縄県の 3 集団から採取された約 600~700 個体のサンプルについて, 葉緑体 DNA の 4 領域や, 核リボソーム DNA の ITS 領域を解析した研究において, トカラ海峡付近を境に琉球諸島に祖先的系統, 日本本土 (トカラ海峡以北) に派生的系統が分布する傾向のあること, 日本列島の南から北に連続的な遺伝的変異の存在することが明らかになっている^{5,8)}。また, 日本全国から採取された 667 個体のサンプルについて, RAD-seq 法により得られた核 DNA の 20,704 の一塩基多型 (SNPs) と, 葉緑体 DNA の 10 領域のマイクロサテライトを解析した研究においては, 核 DNA の Structure 解析と主成分判別分析 (discriminant analysis of principal components; DAPC) の結果からは日本の主要 4 島 (北海道, 本州, 四国, 九州) は西日本, 中日本, 東日本の 3 地区に分かれること, 核 DNA の空間的主成分分析 (spatial principal component analysis) や葉緑体 DNA のハプロタイプの空間的分布の検討結果からは, 日本アルプスや津軽海峡が種子散布の障壁となっている可能性や, 葉緑体 DNA については九州地方とその他の西日本でハプロタイプの分布が異なっていることが示されている³⁾。

一方で, ススキは自殖率が極端に低い自家不和合性であり⁷⁾, 風により長距離散布される花粉と種子を持つため, 広範囲にわたって集団間の遺伝的交流が行われること^{3,5,6,8)}や, 日本に入った時期が 14,000 年前と比較的近いこと²⁾から, ススキの遺伝的多様性は比較的低く, 集団間の遺伝的分化程度も低いこと^{5,6,8)}や, 空間的主成分分析において約 80% の遺伝的変異が説明されなかったこと³⁾が考察されている。

以上から, 島嶼部を除く日本の主要 4 島におけるススキの遺伝的地域区分については, Structure 解析と DAPC によ

り得られた3地区、あるいは日本アルプスや津軽海峡が障壁として機能している可能性や九州地方のハプロタイプが異なっていることを考慮して6地区に区分することが妥当であると考えられる。阿蘇草原は3地区に分けた場合は西日本地区に、6地区に分けた場合は九州地区に属することになる。そのため、「阿蘇草原再生全体構想」で定められた保全対象区内で採取されたススキを、同区内で自然再生のために利用することについては系統地理学的な観点からは基本的に問題ないと考えられる。ただし、日本全国に分布するススキの開花時期は北方系統が早く、南方系統が遅いという緯度に沿った勾配があり、生態的に異なる地域系統の存在が知られている⁴⁾。また、同一の山において高標高のススキは低標高の個体よりも早く開花することが報告されている¹⁾。同一地域における高標高と低標高の開花時期の違いが遺伝的変異に基づくものであるかについては現時点では未解明であることから、保全対象区内であっても標高の著しく異なる集団間でススキの開花時期に差異が観察される場合には、それらの集団間の移動を避けることが望ましいと考えられる。

なお、上記の地理的範囲を検討する前提条件として、良好に残された草原等の在来集団から種子等を採取する必要がある。また、地域性系統の地理的範囲内であっても、種子等の供給を大規模に行う場合（個々のプロジェクトは小規模であっても累積的に大規模になる場合を含む）には、導入される遺伝子型に偏りが生じないように、複数の採取地を設定する等の配慮のなされることがより望ましいと考えられる。

引用・参考文献

- 1) 足立昇造 (1958) ススキ属植物の飼料作物化に関する育種学的基礎研究. 三重大学農学部学術報告, 17: 1-120.
- 2) Clark, L.V., Brummer, J.E., Glowacka, K., Hall, M.C., Heo, K., Peng, J., Yamada, T., Yoo, J.H., Yu, C.Y., Zhao, H., Long, S.P. and Sacks, E.J. (2014) A footprint of past climate change on the diversity and population structure of *Miscanthus sinensis*. *Annals of Botany*, 114: 97-107.
- 3) Clark, L.V., Stewart, J.R., Nishiwaki, A., Toma, Y., Kjeldsen, J.B., Jørgensen, U., Zhao, H., Peng, J., Yoo, J.H., Heo, K., Yu, C.Y., Yamada, T. and Sacks, E.J. (2015) Genetic structure of *Miscanthus sinensis* and *Miscanthus sacchariflorus* in Japan indicates a gradient of bidirectional but asymmetric introgression. *Journal of Experimental Botany*, 66(14): 4213-4225.
- 4) 早川宗志 (2017) 外来および在来ススキの系統地理学および分類学的研究. 雑草研究, 62(2): 58-61.
- 5) Hayakawa, H., Akasaka, M., Shimono, Y., Kurokawa, S., Nishida, T., Ikeda, H. and Wakamatsu, T. (2014) Phylogeography based on the nuclear ribosomal DNA internal transcribed spacer region of native *Miscanthus sinensis* (Poaceae) populations in Japan. *Weed biology and management*, 14(4): 251-261.
- 6) 早川宗志・下野嘉子・赤坂舞子・黒川俊二・西田智子・池田浩明・若松徹 (2014) 日本在来ススキの地理的遺伝構造と遺伝的多様性. 日本草地学会誌, 60(2): 124-131.
- 7) 平吉功・西川浩三・加藤鏖三 (1955) 飼料植物の細胞遺伝学的研究 (IV) ススキ属植物の自家不和合性. 育種学雑誌, 5(3): 167-170.
- 8) Shimono, Y., Kurokawa, S., Nishida, T., Ikeda, H. and Futagami, N. (2013) Phylogeography based on intraspecific sequence variation in chloroplast DNA of *Miscanthus sinensis* (Poaceae), a native pioneer grass in Japan. *Botany*, 91: 449-456.
- 9) 津村義彦・陶山佳久編 (2015) 地図でわかる樹木の種苗移動ガイドライン, 文一総合出版, 176 pp.
(以上文責：今西純一)