

滋賀県南東部の水田地帯におけるハルリンドウ生育地の環境条件

Environmental Conditions of the Habitat of *Gentiana thunbergii* (G. Don) Griseb. in Paddy-field Areas in the South-Eastern Area of Siga Prefecture

今西 亜友美* 今西 純一* 河瀬 直幹** 夏原 由博***

Ayumi IMANISHI Junichi IMANISHI Naoki KAWASE Yoshihiro NATUHARA

Abstract: *Gentiana thunbergii* (G. Don) Griseb. is a small winter annual plant that flowers in early spring. Because of habitat development and over collection for horticulture, this plant has become an endangered grassland species. Semi-natural grasslands established on small landscape components, such as levees of paddy fields and agricultural reservoirs, are important alternative habitats for this species. The purpose of this study is to determine the optimal environmental conditions of the alternative habitats of this species in semi-natural grasslands maintained by agricultural practices. The mean soil volumetric water content of the study sites was 50.4%, while there was a significant moderate negative partial correlation between plant population density and soil water content. These findings indicate that although a moderately wet environment is necessary for species growth, excessive wetness is unsuitable. A significant moderate positive partial correlation between number of individuals and relative photosynthetically active radiation (PAR) was found, and relative PAR had a significant fairly strong negative correlation with the height of the surrounding plants. It is considered that the well-lighted environment, maintained by agricultural activities such as regular mowing management contributes to survival of the *G. thunbergii* population in the levees of paddy fields and the other landscape components in paddy-field areas.

Keywords: *Gentiana thunbergii*, paddy levee, soil water content, amount of solar radiation, mowing

キーワード: ハルリンドウ, 水田畦畔, 土壌水分量, 日射量, 草刈り

1. はじめに

ハルリンドウ (*Gentiana thunbergii*(G. Don) Griseb.) は、水田地帯に生育する代表的な草原性植物であり、農村景観と農業生態系を構成する重要な要素の一つである。しかし、生育地の開発や園芸のための採取などによって個体群が減少し、北海道や京都府など 16 都道府県のレッドリストに掲載され、保全の必要性が高い草原性植物である。ハルリンドウは、日当たりの良い、やや湿った草地や湿原などにはえる^{2,5)}とされるが、近年の研究から、湧水湿地などの自然草地だけでなく、畦畔地⁶⁾や茶園草地⁷⁾などの農業にともなって維持されている半自然草地にも生育することが確認されている。生育地面積が減少するなかで、農業にともなって維持されている水田畦畔などの半自然草地は、ハルリンドウにとって重要な代替生育地になりうると考えられる。

ハルリンドウは、高さ 5~15 cm の小型の越年草で、秋頃に芽生え、ロゼット株で越冬し、3~5 月に青紫色の花をつける^{2,4)}。ハルリンドウは、比較的上空が開放され、適度に湿った北西向き斜面を好むことが、岐阜県恵那市の二次林内ギャップの湿地や造成地法面などを対象とした研究から報告されている^{8,9)}。しかし、農業にともなって維持されている半自然草地において、ハルリンドウの生育に影響を及ぼす環境条件を明らかにした研究はなく、水田周辺の環境特性や管理形態との関係については明らかではない。

そこで、本研究では、農業にともなって維持されている半自然草地において、ハルリンドウの生育に影響を及ぼす環境条件を明らかにするため、ハルリンドウの個体数および個体密度と環境条件との関係から、ハルリンドウが好む生育地環境を議論した。また、半自然草地においてハルリンドウが生育できる条件を明らかにするため、自然草地である湧水湿地との比較を行った。

滋賀県甲賀市および蒲生郡に広がる水口丘陵、甲賀丘陵、甲南丘陵の谷部を中心に踏査した。これらの丘陵の谷部では、所有者の個人的な造成や小規模な整備事業等が行われた箇所はあるものの、元の地形を全面的に改変するような大規模な基盤整備が行われた場所は少ない。また、湧水が出ている地点があり、ハルリンドウが好むとされるやや湿った環境^{2,5)}が多数存在するため、調査対象地として選定した。

踏査の結果、ハルリンドウの生育が確認された水田畦畔 24 地点と農業用ため池の堤 2 地点の合計 26 地点を調査地点とした(図-1)。ハルリンドウは雨滴散布植物¹⁰⁾であり、種子の散布距離が非常に短い。そのため、ハルリンドウの非生育地では、種子散布と環境条件のどちらが生育の制限要因となっているか区別することが困難である。そこで、本研究ではハルリンドウの生育が確認された地点のみを対象とし、ハルリンドウの個体数および個体密度と環境条件との関係からハルリンドウの好む生育地環境を明らかにすることとした。なお、生育の確認のために踏査した範囲の面積は 71.0 km²、踏査距離は 113.2 km である。また、調査地点は古琵琶湖層群の地層上に位置する。

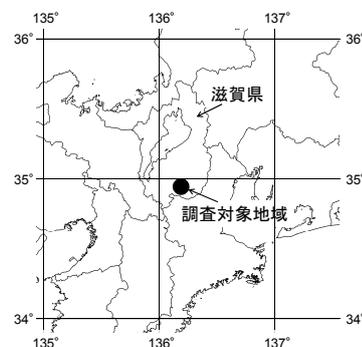


図-1 調査対象地域 (希少種のため、調査地点の詳細図は掲載しない)

2. 方法

(1) 調査対象地

*京都大学大学院地球環境学堂

**甲賀市みなくち子どもの森自然館

***名古屋大学大学院環境学研究所

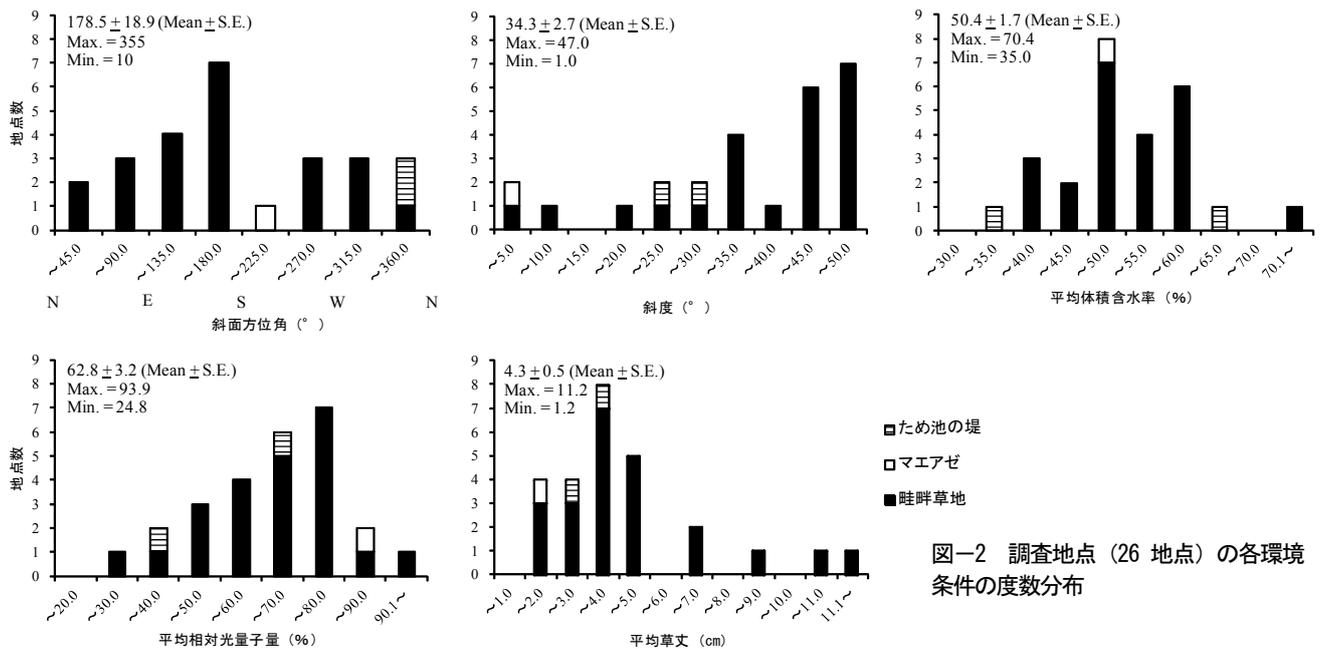


図-2 調査地点 (26 地点) の各環境条件の度数分布

表-1 調査地点 (26 地点) における環境条件間の相関係数

	傾度 (°)	平均体積含水率 (%)	平均相対光量子量 (%)	平均草丈 (cm)
斜面方位角 (cos変換)	0.03	0.28	-0.05	0.06
傾度 (°)		0.20	-0.11	0.17
平均体積含水率 (%)			0.32	-0.23
平均相対光量子量 (%)				-0.68**

**: $p < 0.01$

対象とした水田畦畔は、山口・梅本 (1996) ¹⁾ の定義に従うと、水田の本田 (耕作される場所) に面したあぜの塗り面であるマエアゼ、作業用の歩行路である平坦面、隣接する水田もしくは通路または山林につながるあぜの傾斜面である畦畔草地の3つの部位を持つ関西型畦畔に分類され、ハルリンドウの生育が観察されたのは、調査地点のうち23地点は主に畦畔草地、残り1地点はマエアゼであった。

また、自然草地である湧水湿地と比較することにより、半自然草地においてハルリンドウが生育できる条件を明らかにするため、比較対象として甲賀市内のハルリンドウが自生する湧水湿地1地点を選定した。

(2) 調査方法

2010年4月下旬から5月中旬にかけて、各調査地点と湧水湿地においてハルリンドウの生育個体数および生育地面積を計測、記録した。生育地面積とは、ハルリンドウが生育している範囲の面積である。同時に、各調査地点と湧水湿地の斜面方位角と傾度、ハルリンドウ個体周辺の地表面における相対光量子量、土壌の体積含水率、他種の草丈を計測、記録した。相対光量子量、土壌の体積含水率、他種の草丈については、調査地点ごとにランダムに5ヶ所の計測ポイントを設定して測定した。相対光量子量については、光量子センサー (LI-190SA, LI-192SA, LI-COR社, USA) を用いて、地表面とオープンスペースにおける光量子量を同時に計測し、それらの値を用いて相対光量子量を算出した。土壌の体積含水率の測定には、ハンディ土壌水分センサー (HydroSense, Campbell Scientific社, USA) を用いた。

ハルリンドウの生育環境について植物図鑑 ²⁾ にはやや湿った場所を好むと記載され、味岡ら (2009) ³⁾ も土壌が比較的多湿であることが生育の必須条件であると推測している。農業にともなって維持されている半自然草地においても、土壌水分が重要であ

るかを検討するため、土壌の体積含水率を連続的に測定した。2010年5月8日から2011年6月26日まで、ハルリンドウが生育する水田の畦畔草地1地点、ため池の堤1地点において、土壌水分センサー (EC-5, Decagon Devices社, USA) を用いて、深さ約10cm地点の土壌の体積含水率を1時間おきに測定、記録した。測定の対象とした水田の畦畔草地とため池の堤の斜面方位角はそれぞれ、272°と320°、傾度は34°と28°であった。なお、マエアゼでもハルリンドウの生育が確認されたが、1地点のみであり、本調査対象地ではハルリンドウの生育地として特殊な環境であると考えられたこと、また、マエアゼでは所有者によって土壌が攪乱され、土壌水分センサーの設置が困難であったことから、土壌体積含水率の連続的測定は行わなかった。また、比較対象とした湧水湿地のハルリンドウ生育地点2箇所において、2010年4月18日から2011年6月28日まで土壌水分センサー (CS616, Campbell Scientific社) を用いて、土壌の体積含水率を1時間おきに測定、記録した。なお、体積含水率のセンサー指示値は、不攪乱土壌試料を採取して校正を行った。さらに、植物の土壌水の利用のしやすさを解釈可能にするため、加圧法によって土壌水分特性曲線を求めて、体積含水率をpF (cm H₂Oの常用対数) に変換した。

(3) 分析

調査地点の環境条件間の相関をPearsonの積率相関係数により分析した。また、調査地点におけるハルリンドウの個体数 (対数変換) と個体密度 (個体/m²) を算出し、それぞれについて、各環境条件との偏相関係数を求めた。偏相関係数の制御変数は、コサイン変換後の斜面方位角、傾度、平均相対光量子量、平均体積含水率、平均草丈のうち4変数とした。分析には、統計ソフトSPSS Statistics 17.0を用い、有意水準は0.05に設定した。

3. 結果

(1) 環境条件間の関係

図-2に調査地点の各環境条件の度数分布を示す。全方位にてハルリンドウの生育が確認された。傾度は、最大は47°、最小は1°と幅広い範囲で生育が確認された。平均体積含水率は平均値が50.4%と高く、最小の地点でも35.0%であった。平均相対光量子量は60~80%の地点が多く、最大は93.9%、最小は24.8%であった。平均草丈は1~5cmの地点が多く、最大は11.2cmであ

表-2 個体数および個体密度と環境条件との偏相関係数

	斜面方位角 (cos変換)	傾度 (°)	平均体積 含水率 (%)	平均相対 光量子量 (%)	平均草丈 (cm)
個体数 (対数変換)	-0.15	0.09	-0.24	0.47*	0.13
個体密度 (/m ²)	-0.10	0.22	-0.46*	0.07	-0.08

*: $p < 0.05$

た。

環境条件間の相関係数を表-1 に示す。各調査地点の平均相対光量子量と平均草丈との間に有意なやや強い負の相関がみられた。その他の環境条件間については、有意な相関はみられなかった。

なお、湧水湿地の斜面方位角は 334 °と北西向きであり、傾度は 3 °、平均体積含水率は 50.3 %、平均相対光量子量は 56.7 %、平均草丈は 3.9 cm であった。

(2) 個体数および個体密度と環境条件間の関係

調査地点のハルリンドウの平均個体数は 418 個体であり、最小個体数は 20 個体、最大個体数は 2,975 個体であった。また、平均個体密度は、8.1 個体/m² であり、最小個体密度は 1.3 個体/m²、最大個体密度は 59.3 個体/m² であった。なお、湧水湿地のハルリンドウの個体数は 9,081 個体であり、個体密度は 4.5 個体/m² であった。

対数変換したハルリンドウの個体数は、平均相対光量子量と有意な中程度の正の偏相関があった (表-2)。その他の環境条件に対しては、有意な偏相関はみられなかった。

ハルリンドウの個体密度は、平均体積含水率と有意な中程度の負の偏相関があった (表-2)。その他の環境条件に対しては、有意な偏相関はみられなかった。

(3) pF 値の季節変動

水田の畦畔草地およびため池の堤における pF の変動を図-3 上に示す。どちらの地点においても季節変動がみられ、2010 年 6 月中旬や 7 月下旬から 9 月初旬にかけては毛管連絡切断含水量である pF 3.0 以上の乾燥状態を記録した。しかし、ハルリンドウの発芽、成長、開花期間である秋頃から翌年 5 月までは pF 3.0 以下

の湿潤状態を保っていた。

図-3 下に湧水湿地における pF の変動を示す。水田の畦畔草地やため池の堤と比べて、季節変動は小さく、pF 1.8 以下の湿潤状態をほぼ 1 年中保っていた。

4. 考察

(1) ハルリンドウ生育地としての畦畔草地の重要性

水田畦畔の 3 つの構成要素のうち、ハルリンドウの生育が多く確認されたのは、畦畔草地であった。マエアゼは代かき前に壊され、代かき直前の入水時に水田土壌で塗り戻される¹¹⁾。平坦面は頻繁に踏みつけられ、植物体が直接的に破壊される。一方、畦畔草地では、多くの場合、年 1、2 回程度の草刈りが行われる¹¹⁾のみであり、マエアゼや平坦面に比べて攪乱の程度が小さく、植物体が直接的に破壊されることが少ない。そのため、水田畦畔の構成要素のうちでも、畦畔草地にハルリンドウの生育地が多かったと考えられた。

また、調査地点の畦畔草地は、斜面林につながっている場合が多く、傾度が 30 °以上の地点が多かった (図-2)。本調査対象地では、冬季に最高 20 cm 前後の積雪があり、急傾斜地では積雪の重みによって枯れ草が倒れることが多い。ハルリンドウが成長、開花する早春に、明るい環境が出現しやすいことが畦畔草地に生育地点が多い理由の一つであると推察された。

(2) 水田地帯におけるハルリンドウ生育地の環境条件

ハルリンドウの花は日の光に敏感であり、光が届かなくなると、花を閉じることが知られている⁵⁾。また、雄しべ先熟型の花である¹²⁾ことから、主に他花受粉を行っていると考えられる。南向きの斜面では、北向き斜面に比べて日照時間が長く、開花している時間が長くなり、受粉成功率が高くなる可能性が考えられる。しかし、本研究では、全方位でハルリンドウの生育が確認され (図-2)、個体数や個体密度と斜面方位との間に有意な偏相関はみられず (表-2)、ハルリンドウの生育に斜面方位が及ぼす明瞭な影響はみられなかった。

調査地点の土壌の体積含水率の平均値は、50.4 % と高い値を示

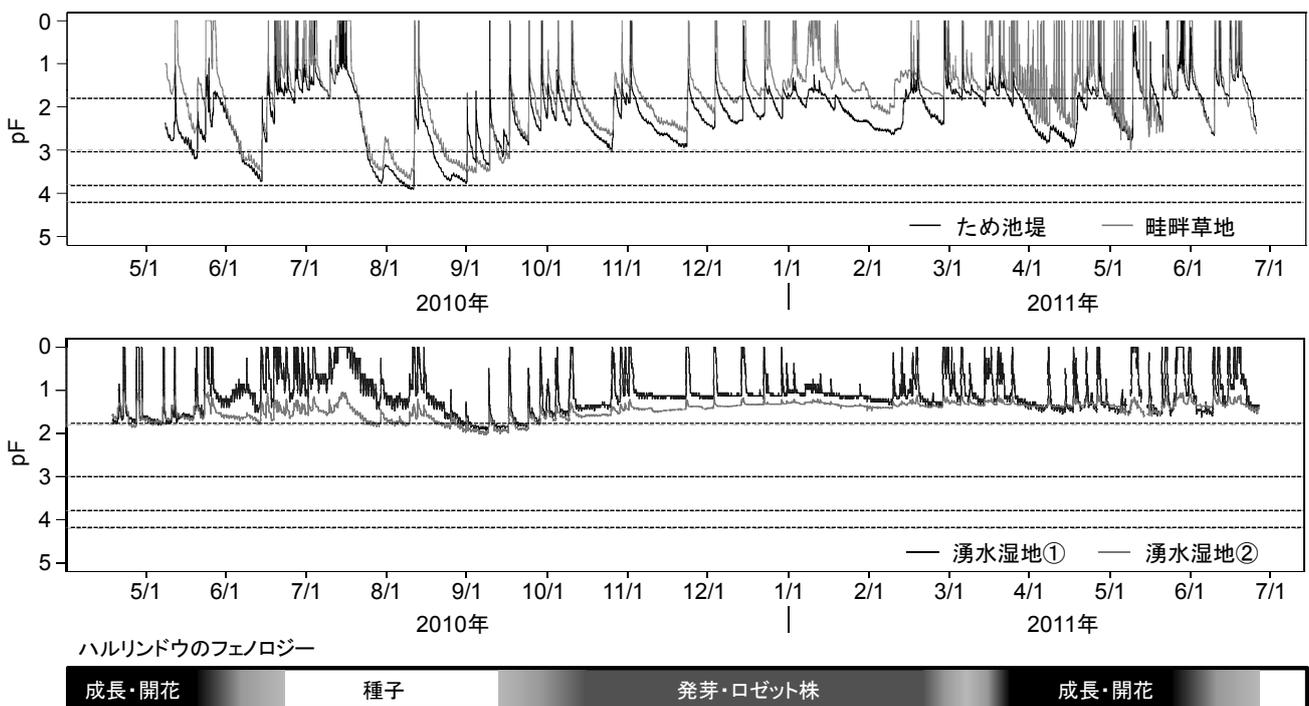


図-3 水田の畦畔草地とため池の堤 (上図) および湧水湿地 (下図) における pF の変動と、ハルリンドウのフェノロジー

* pF1.8 : 圃場容量水, pF3.0 : 毛管連絡切断含水量, pF3.8 : 初期しおれ点, pF4.2 : 永久しおれ点

した(図-2)。これは、湧水が出ている調査地点が多かったためと考えられる。なお、湧水湿地の土壌の体積含水率は50.3%であり、調査地点の平均値とはほぼ同じ値であった。また、畦畔草地1地点とため池の堤1地点における土壌の体積含水率の連続的測定の結果、ハルリンドウの生育期間である秋頃から翌年5月までは、どちらの地点でも、植物が土壌水を容易に利用できるpF 3.0以下の湿潤状態を保っていた(図-3)。なお、これらの2地点は、斜度は調査地点の平均値(図-2)に近く、斜面方位は調査地点が様々な方位にある中(図-2)で西あるいは北西向きであることから、特異的な環境にあるとは言えず、測定地点数が少ないため結果の信頼性は劣るものの、全調査地点内である程度の代表性を確保しているものと推測される。これらのことから、先行研究⁸⁾と同様に、ハルリンドウの生育には適度に湿った環境が必要であると考えられた。一方で、個体密度と平均体積含水率との間には、有意な中程度の負の偏相関がみられた(表-2)。ハルリンドウは体積含水率が70%程度の多湿条件下でも生育は可能である(図-2)が、最適な生育環境ではないことが推察された。

対数変換したハルリンドウの個体数と平均相対光量子量との間に有意な中程度の正の偏相関がみられた(表-2)。なお、湧水湿地の平均相対光量子量は56.7%であり、調査地点の平均値に近い値であった。ハルリンドウの花のサイズと、成熟種子数との間には有意な正の相関があり、花冠の直径が大きい個体から採取した種子のほうが発芽能力が高い傾向があったことが報告されている¹³⁾。相対光量子量が大きくなると、光合成による同化産物の量が増加することにより、花のサイズが大きくなり、成熟種子数が増え、個体数が増加すると考えられた。

平均相対光量子量と平均草丈との間に有意なやや強い負の相関がみられた(表-1)。本研究で対象とした水田畦畔やため池の堤では、上空が開放されているため、周囲の草丈が相対光量子量に直接的に影響を及ぼすと考えられる。本調査地点では、畦畔草地は主に7~8月と2~3月の少なくとも2回、ため池の堤は7~8月の少なくとも1回は草刈りが行われている。しかし、水田が放棄されると草刈りが行われなくなり、ササが侵入、繁茂することが多い。一方、湧水湿地では、草刈りは行われていないが、平均草丈は3.9cmと調査地点の平均値に近い値であった。湧水湿地では、降雨後24時間排水した時の水分保持量である、pF 1.8以下の湿潤状態がほぼ1年中保たれていることにより(図-3)、高茎草本や木本の侵入が抑えられていると考えられる。本調査地点のような水田畦畔やため池の堤におけるハルリンドウ個体群の存続には、農業にともなう草刈りという人為的な管理により、明るい環境が保たれることが必要であると推察された。

5. まとめ

農業にともなう維持されている半自然草地におけるハルリンドウ生育地の特徴を明らかにすることを目的に研究を行った結果、水田周辺に成立する半自然草地のうち、畦畔草地はハルリンドウの生育地として特に重要であることが示唆された。

調査地点の土壌の体積含水率は高い値を示した一方で、ハルリンドウの個体密度と体積含水率との間には、有意な負の関係がみられたことから、ハルリンドウの生育には、適度に湿った環境が必要であるが、過度に湿った環境は生育に不適であることが示された。さらに、ハルリンドウの個体数と相対光量子量との間に有意な正の関係がみられ、相対光量子量と草丈との間には有意な負の関係がみられたことから、畦畔草地において草丈を低く保ち、明るい環境を維持することが必要であると考えられた。しかし、農業従事者の高齢化などの理由から、本調査対象地でも放棄水田が増加している。今後、作業の省力化のため、効率的な草刈りの頻度や時期について検討する必要がある。

謝辞: 現地調査にあたり、便宜を図っていただいた地元農家の方々及び湧水湿地保存会の皆様に感謝いたします。なお、本研究は、環境省環境研究総合推進費 D-0906 の研究費を一部使用しました。

引用文献

- 1) NPO 法人 野生生物調査協会・NPO 法人 Envision 環境保全事務所: 日本のレッドデータ検索システム <<http://www.jpnrdb.com/search.php?mode=map&q=06040153714>>, 2008.9.17 更新, 2011.9.13 参照
- 2) 佐竹義輔・大井次郎・北村四郎・亘理俊次・富成忠夫編(1981): 日本の野生植物 草本 III 合弁花類: 平凡社, p30
- 3) 林弥栄編(1983): 山溪カラー名鑑 日本の野草: 山と溪谷社, p262
- 4) 畔上能力編(1996): 山溪ハンディ図鑑 2 山に咲く花: 山と溪谷社, p170
- 5) 永田芳男(2006): 新装版山溪フィールドブックス 9 春の野草: 山と溪谷社, p91
- 6) 味岡ゆい・沼田早都希・斉藤裕子・南基泰(2009): 同じであって、同じでないもの—ハルリンドウの遺伝的多様性—: ARENA2009 Vol.7, 383-389
- 7) 稲垣栄洋・大石智広・高橋智紀・松野和夫(2008): 除草の風土[13]静岡県茶園地帯に見られる管理された茶草ススキ草地: 雑草研究 53(2), 77-78
- 8) 味岡ゆい・上野薫・寺井久慈・南基泰・米村惣太郎・那須守・横田樹広・小田原卓郎(2008): HIS モデルを用いたハルリンドウ (*Gentiana thunbergii*) の遺伝的多様性保全のための環境要因評価—土岐川・庄内川流域圏の持続的管理・保全のための生物多様性ポテンシャル評価に向けて(1)—: 環境アセスメント学会 2008 年度研究発表会要旨集, 193-198
- 9) 味岡ゆい・愛知真木子・上野薫・寺井久慈・南基泰・米村惣太郎・那須守・横田樹広・小田原卓郎(2009): 2007-2009 年に構築したハルリンドウ HIS モデルの年間比較—土岐川・庄内川流域圏の持続的管理・保全のための生物多様性ポテンシャル評価に向けて(5)—: 環境アセスメント学会 2009 年度研究発表会要旨集, 61-66
- 10) Nakanishi, H. (2002): Splash seed dispersal by raindrops: Ecological Research 17, 663-671
- 11) 山口裕文・梅本信也(1996): 水田畦畔の類型と畦畔植物の資源学的意義: 雑草研究 41(4), 286-294
- 12) 菅原久夫(1990): 小学館のフィールド・ガイドシリーズ 4 日本の野草「春」: 小学館, p71
- 13) 増田理子・高井美紀・野口智未(2011): ハルリンドウの花サイズと結実率の関係: 第 58 回日本生態学会大会講演要旨 <<http://www.esj.ne.jp/meeting/abst/58/P2-092.html>>, 2011.1.11 更新, 2011.9.19 参照