

底面給液法における根長増加によるイチゴ多収化の可能性

誌名	農業および園芸 = Agriculture and horticulture
ISSN	03695247
著者名	中野,明正 川口,哲平 Thient Tharaphe Aung 大川,千鶴 黒田,史絵
発行元	養賢堂
巻/号	97巻2号
掲載ページ	p. 105-110
発行年月	2022年2月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



底面給液法における根長増加によるイチゴ多収化の可能性

中野明正*, 川口哲平**, タエッ・タヤピー・アウン**, 大川千鶴**, 黒田史絵**

〔キーワード〕: 根長, クラスター根, ナチュラルサブライポニックス (NSP)

1. 緒言

イチゴの安定多収生産においては, 様々な生産方式が試されており, 様々な品種において試行錯誤がなされている. 生産方式については多収をめざしたシステム開発が各県で実施され (例えば, 越川ら 2000, 安部ら 2009 等), 各県品種での最適化が進んでいる. 品種や生産システムは今後も新たなものが開発され, その都度より合理的な組み合わせが選択されていくと考えられる.

イチゴの生産では, 最近では民間企業からの参入もあり, いくつかの生産システムが上市されている. 本研究では, ヤンマーグリーンシステム (株) で開発された断熱送風栽培槽と NSP (ナチュラルサブライポニックス) の比較を行うこととした (図 1). 断

熱送風栽培槽については, 生産現場においてイチゴの収量の増加事例が得られつつあるとともに, 収量増加の原因を解明するための基礎的な知見も得られている (中野ら 2021). NSP は底面給液法をシステム化した商品であり, トマト栽培では安定多収に向けた取り組みが進んでいるが (川口ら 2021), イチゴにおいて適用した事例はない.

イチゴの安定多収を意識した品種比較に関する研究では, 例えば山口県で高設栽培において 13 品種の生産量が比較され, ‘かおり野’ が多収品種として選定されている (鶴山ら 2017). 一方で, それぞれの品種で最適な栽培システムが存在することも想定されるが, 双方の組み合わせ研究の事例はそれほど多くなく (岩崎ら 2012), その最適化の原理までに言及した論文はない.

本研究では, 報告事例がない, 断熱送風栽培槽と NSP のイチゴでの比較栽培を実施した. 品種におい

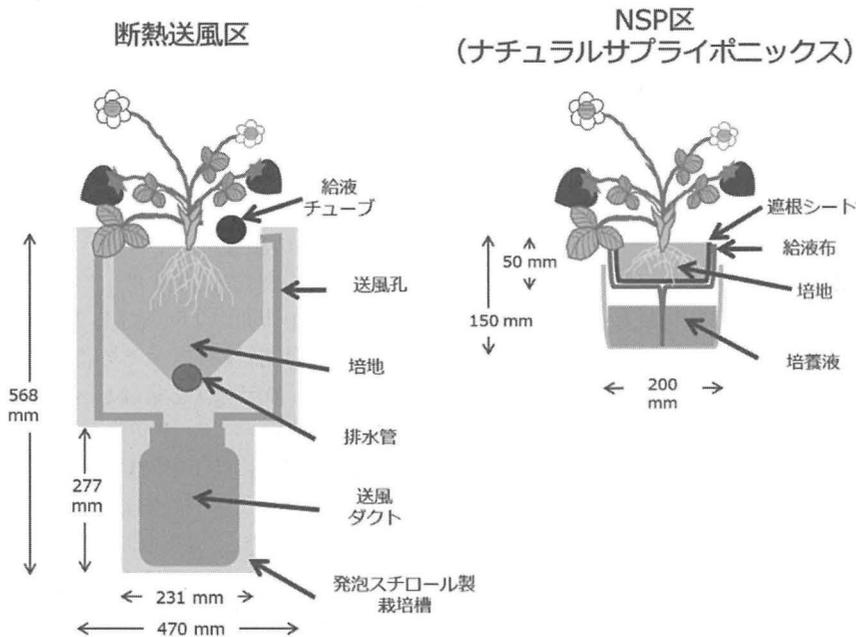


図 1 栽培システムの概要

*千葉大学 学術研究・イノベーション推進機構 (Akimasa Nakano)

**ヤンマーグリーンシステム株式会社 (Teppei Kawaguchi, Thient Tharaphe Aung, Chizuru Ohkawa, Shie Kuroda)

ては、性質が大きく異なると考えられる種子繁殖性の四季成り性品種である‘よつぼし’と、苗で増殖した一季成り性品種である‘恋みのり’を用いてその生産量を評価した。

このような栽培システムと品種の組み合わせ比較においては、根域環境が大きく異なることが想定され、根系を評価する必要がある。しかし、イチゴの場合は近年有機培地などを用いる栽培システムが増えてきていることもあり、根を取り出し評価するのに多大な労力が必要となり、その評価研究は進んでいない(中野ら 2021)。

本研究では栽培終了後に根を取り出し、それぞれの区で根の諸性質を定量的に評価し、収量との関連性を考察した。特に、底面給液法である NSP 区において、顕著に細根が発達し、根長が増加する現象が認められたので報告する。

2. 材料および方法

1) 栽培システムと品種

給液法としては点滴給液法と底面給液法を比較することになる。まず、点滴給液法は図1のように、「断熱送風栽培槽」を装置として用いた区に組み込まれており、ここでは点滴により給液しイチゴを生産した。以後この手法での栽培を「断熱送風区」とした。

底面給液法は NSP (ナチュラルサプライポニックス, ヤンマーグリーンシステム (株)) を装置として用いた区に組み込まれている(川口ら 2021)。以下この手法での栽培を「NSP 区」とする。以上、「断熱送風区」と「NSP 区」はシステムとして異なるが、根域に与える影響の大きな相違点は①給液の仕方と、②培地の量である。給液は「断熱送風区」が点滴給液なのに対して、「NSP 区」は底面給液、培地量は「断熱送風区」が 4.0L/株に対して、「NSP 区」は 0.8L/株であった。用いた品種は 2 品種、四季成り性品種の‘よつぼし’と一季成り性品種の‘恋みのり’であった。

2) 給液条件

定植は 2020 年 9 月 16 日に行った。「断熱送風区」では点滴給液を行った。液肥はタンクミックス F&B (OTA アグリオ) を用いた。定植直後は EC0.4 dS m⁻¹ で施用し、12 月末にかけ段階的に EC1.0 dS m⁻¹ まで上昇させ、蒸散量が多くなる 2 月以降は段階的

に EC を下げた。給液量は植生や排液量を観察した上で、排液が多く出ないようにその都度調整を行った。具体的には生育初期は 200 mL/株として、春先にかけて段階的に 650 mL/株まで増加させた。給液回数は 6~9 回/日とした。

一方、「NSP 区」は底面給液であり、液肥は「断熱送風区」と同じタンクミックス F&B を用いた。定植直後は EC0.4 dS m⁻¹ で施用し、12 月末にかけ段階的に EC0.8 dS m⁻¹ まで上昇させ、蒸散量が多くなる 2 月以降は段階的に EC を下げた。給液量・給液回数については、「NSP 区」は蒸散した量だけ自動に給液される仕組みとなっているため、調整の必要はなかった。養液管理としては簡便なシステムであった。

3) 温度環境と CO₂ 施用

空調の設定温度は、「断熱送風区」の植物体付近(植物体上部約 30 cm) に温度センサーを設置し制御を行った。定植から 2020 年 11 月 25 日までは「冷房」、2020 年 11 月 26 日から 2021 年 3 月 12 日までは「暖房」にて運転を行った。「冷房」は 15:30~翌日 8:00 は 20℃以上、8:00~15:30 は 30℃以上で運転をするように設定をした。「暖房」は 4:30~6:30 は 12℃以下、6:30~8:00 は 14℃以下、8:00~15:30 は 20℃以下、15:30~翌日 4:30 は 7℃以下で運転するように設定をした。

CO₂ 施用は 6:00~16:00 を基本として施用を継続し、480 μmol mol⁻¹ 以下になると供給されるように設定した。

4) 収穫物の調査

収穫物の調査は 2020 年 12 月 14 日から開始し、おおむね 1 週間に 2 回実施し 2021 年 7 月 22 日までの約 8 か月間継続した。その都度重量と糖度を測定し、これらのデータを集計し区ごとの比較を行った。

5) 根の調査

栽培終了後に地上部を切断採取した後、栽培槽から根系を培地ごと取り出した。その後、高圧洗浄機で培地を除去して根を取り出した。この手法で採取した根を、キッチンの排水口を覆い、生ゴミなどの流れ込みを抑制する水切りネット(ポリエチレン製)に入れ、電気脱水機(HS-S60A, ハイススマートジャパン(株))で1分間脱水処理(2,800 rpm)した。脱水後は根をビニル袋に入れ、重量測定までは水分の蒸発が発生しないようにした。この状態の根

の重量を新鮮重とした。得られた根の一部をランダムに約 1 g 採取し WinRhizo (Regent Instruments Inc.) を用いて、総根長および根の平均直径を計測した。測定後は 80℃で 24 時間乾燥し乾物重を測定し、比根長を算出した。また根長測定に用いなかった根についても同様に乾物重を測定して、乾物率を算出した。

3. 結果

1) 環境条件

地上部の日平均気温は 10 月から 1 月までは約 18℃から約 13℃まで低下した。その後「断熱送風区」では 4 月にかけて 16℃まで上昇したが、「NSP 区」では 19℃まで上昇し、送風による昇温抑制効果が認められた。一方で、根部の温度は大きくことなり、「断熱送風区」は通年で 14~17℃程度であったが、「NSP 区」では 19℃まで気温と同様に上昇した。また根部で特徴的なのが月ごとの変動で、「断熱送風区」では 12 月と 1 月で「NSP 区」に比べ 4℃程度高く、逆に 10 月と 11 月、3 月と 4 月では 4℃程度低いという逆のパターンをとった (図 2)。

2) イチゴの生産量と品質

「断熱送風区」と「NSP 区」において「よつぼし」と「恋みのり」の果実生産量を比較した。12 月から 7 月までの約 8 か月間の生産期間において株あたり収量は、「よつぼし」においては「断熱送風区」で 938 g/株に対して「NSP 区」で 857 g/株であった (図 3)。一方で、「恋みのり」においては「断熱送風区」で 901 g/株に対して「NSP 区」で 1,310 g/株と顕著な収量増加が認められた。

平均糖度について、「よつぼし」においては「断熱送風区」で 9.7 Brix%に対して「NSP 区」で 10.0

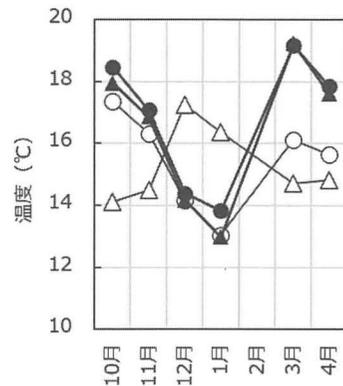


図 2 栽培期間中の地上部および根部の温度
○:「断熱送風区」地上部, △:「断熱送風区」根部, ●:「NSP 区」地上部, ▲:「NSP 区」根部。

Brix%とほぼ同等であった。一方で、「恋みのり」においては「断熱送風区」で 8.5 Brix%に対して「NSP 区」で 9.1 Brix%と「NSP 区」でやや高くなる傾向が認められた。

3) 栽培終了時の根の評価

(1) 根量と根長

株あたりの根新鮮重は、「よつぼし」では「NSP 区」で減少したが、「恋みのり」で増加した。これは乾物重でも同様であった。しかし株あたりの根長については「恋みのり」の「NSP 区」での増加が著しく、「断熱送風区」に比べ約 6 倍となった。

(2) 乾物率と比根長

比根長は、「恋みのり」の「NSP 区」で他の処理区の 2 倍程度であった。乾物率は栽培システム間の比較では、「断熱送風区」に比べ「NSP 区」で高くなり、品種間の比較では「よつぼし」に比べ、「恋みのり」で高くなった。

(3) 根の特徴の観察

表 1 処理終了時の根の特徴

栽培システム	品種	根新鮮重 (g/株)	根乾物重 (g/株)	全根長 (m/株)	比根長 (m/g)	根乾物率
断熱送風	「よつぼし」	11.1	1.8	50.8	29.2	0.162
NSP	「よつぼし」	7.4	1.4	39.1	26.5	0.196
断熱送風	「恋みのり」	13.0	2.7	73.4	27.3	0.208
NSP	「恋みのり」	27.8	6.4	432.5	65.0	0.232
栽培システム		*	*	*	*	*
品種		*	*	*	*	*
交互作用		*	*	*	*	ns

N=4, *: 5%の危険率で有意差あり, ns: 有意差なし。

栽培システムによる違いは、根の色にも表れていた。「NSP区」は「断熱送風区」に比べて全体的に褐変している根の割合が多かった。品種間差については、「よつぼし」に比べ「恋みのり」の根は、硬くごわごわした手触りであった。つまり「よつぼし」の方がより柔らかい手触りの根系であった。

また「よつぼし」の方が「恋みのり」に比べ根の基部（クラウン近傍の部分）の黒化が著しいことが観察された。そのほか「恋みのり」の根は「よつぼし」に比べ基部の根が培地表面となす角度が小さく、根が横方向に展開する性質が強いことが観察された。

4. 考察

1) 栽培システムによるストレスと収量

(1) 栽培システムと品種で異なる収量

点滴給液と底面給液を比較した研究では、点滴給液の方で収量が多くなるという報告がある（岩崎ら2012）。「よつぼし」については同傾向ではあるが、収量の抑制の程度が既報に比べ緩やかであった。これは、既報の手法がひも給液に対して、NSPの底面給液は培地を吸水布で覆っているため、NSPではより多い液量を培地に供給できていた可能性がある。一方で、「恋みのり」では逆にNSPで生育が促進された。つまり、対象とした品種が既報では「とちおとめ」であったため反応が異なった可能性がある。

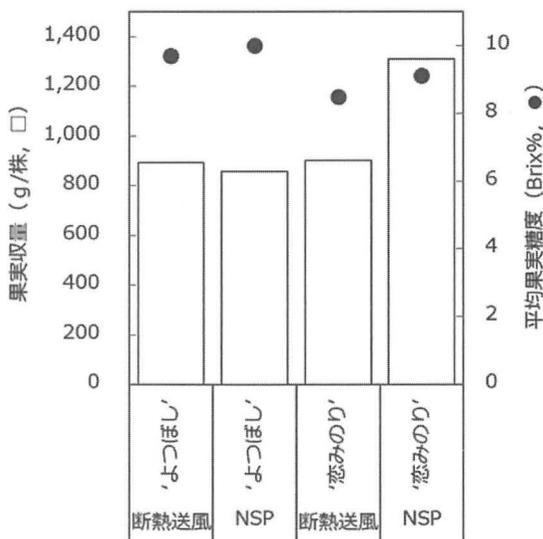


図3 栽培システムがイチゴの収量と糖度に与える影響

この結果は、栽培システムとそれに適する品種の組み合わせが存在する可能性を示唆する。

(2) 実際の収量水準

いわゆるイチゴの多収化をめざした生産方式（例えば、越川ら2000、安部ら2009等）では、排水を適切に確保したうえで多頻度給液が良いとされる事例が多いが、本研究の結果からは、NSPのような底面給液に良好な生育を示す品種も存在する可能性が示された。一方で、培地量を減らしても、1L/株までは収量が維持できるとする報告（越川ら2000）からは、そもそもイチゴの場合、植物体が大きくないので、ある程度少量培地が合理的であり一般にはそれは多頻度給液により維持されると考えられるが、今回は底面給液によりむしろ収量が増加する品種があるということが明らかとなった。株あたり1310gの収量は、9.17t/10a（7,000株/10a）に相当する高収量である。様々な既報の中（壇ら2019、鶴山ら2017）、でも最も高い株あたり収量を示すものである。また、その他の区でも、10aあたり6t程度採れており、全体的に高い水準であったと考えられた。

2) ストレス反応と生産性との関係

(1) 栽培システムと品種により異なるストレス反応

「断熱送風区」と「NSP区」を比べた場合、「NSP区」の方で水ストレスが負荷されていると考えられた。それは、「NSP区」で①品種によらず根が全体的に褐変しているということ、②乾物率が高くなっていることからである。このようなストレスに対して、通常、果実生産量は低下すると思われるが、適度なストレスにより細根が著しく発達し、それにより生育が促進されるような挙動が「恋みのり」で観察された。

培地量が少なくなるほど総収量、平均果実重と栽培終了時の地下部乾物重は減少する傾向にあったとする報告がある（吉田ら2011）。この研究では、供試した品種が、「アスカルビー」、「章姫」、「とちおとめ」であり本研究のものと異なる。むしろ、根域に負荷されるストレスを考えると、この報告（吉田ら2011）は妥当な結果と考えられ、今回の研究で得られた結果の方が特異的であった可能性がある。やはり、栽培システムに対する品種の反応は個別に評価する必要がある。

このように、品種によりストレスに対する対応が異なることと、NSP 自体が比較的弱いストレスを持続的に負荷できる生産システムであるため(川口ら 2021)、『恋みのり』にとっては強すぎるストレスではなかったと考えられ、むしろ生育を促進するような適度なストレスとなった可能性が考えられた。

(2) 根系へのストレスとその変化

イチゴの根は、栽培後期および採取後の根の褐変が著しい(図 4)。今後検討が必要であるが、根は炭水化物の貯蔵機関でもあることから、根量が多いほど最終的な果実への転流も増やせる可能性がある。一方で、根からの転流が円滑に進まないと、褐変し根の活性が低下し肥料の吸収も低下すると考えられる。それを補償するために細根の発達が必要となると推定される。『恋みのり』のような多収品種では、果実へと転流を促進させつつも、このような細根を発達させる能力が高い可能性がある。

特に NSP においては、高密度の細根のクラスターが認められた(図 6)。このようなクラスター状に根が発生する事例としては、リン、鉄、窒素が欠乏した状態に反応して、シロバナルーピン (*Lupinus albus*) で認められ、プロテオイドルートと呼ばれる(森田ら 2008)。この根は、土壌 pH を下げてリン

酸を可溶化させるとされている。このプロテオイドルートは、形態上は根毛や小根が密になり、外見上は“試験管ブラシ”のような構造となるものであり、今回認められた“クラスター根”とは異なる性状のものと考えられた。また、今回の研究は養液栽培で実施したこともあり、養分環境は良好であると考えられ、なぜこのようなクラスター状の細根が発生したのかについて今後原因を解明する必要がある。

(3) 根系のストレス反応と収量の関係

今回の研究結果から、NSP の根域環境条件が『恋みのり』の細根を発生させるのに適した条件であった可能性がある。実際、地上部の収量と栽培終了時の根長を比較したところ、極めて高い正の相関が認められた($R^2=0.998$)。9.17t/10a という高生産量は、

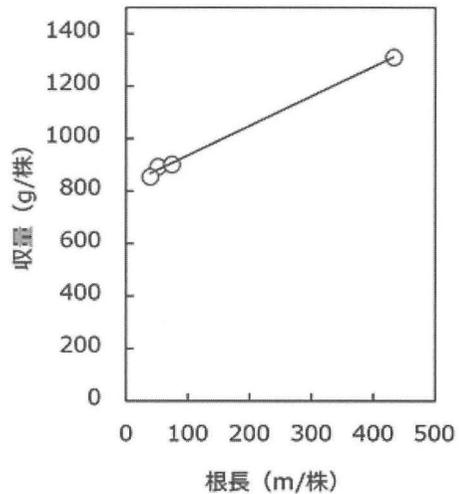


図 5 イチゴの収量と株あたり根長との関係

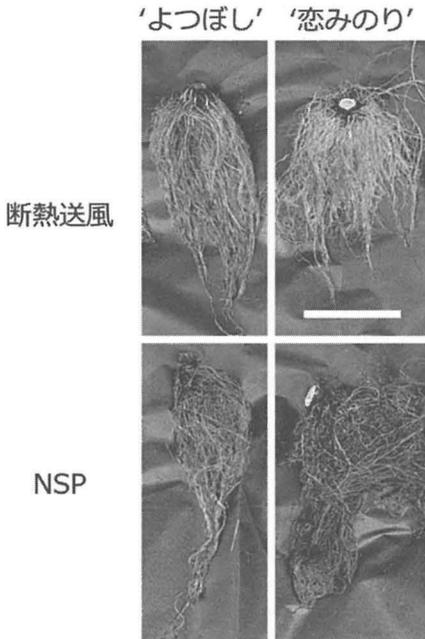


図 4 栽培終了時に取り出したイチゴ根系の状態
白い横棒は 10 cm を示す。

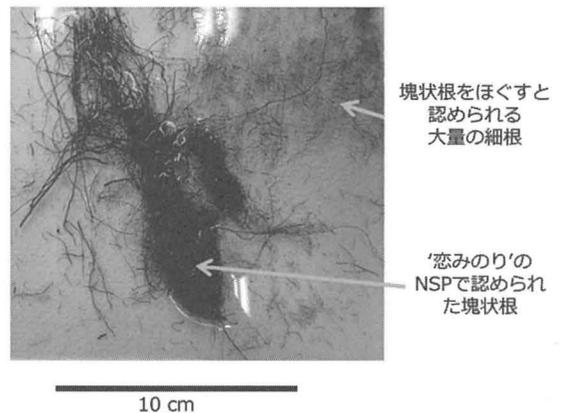


図 6 ‘恋みのり’の「NSP 区」において認められた
クラスター(塊状)根

それを支える十分な細根量が発達した結果である可能性がある。

要約

培地システムとして点滴給液法（断熱送風区）と底面給液法（NSP）を用いて、四季成り性品種の‘よつぼし’と一季成り性品種の‘恋みのり’での果実生産量を比較した。12月から7月までの生産期間（約8か月間）において、‘よつぼし’においては点滴給液法で938 g/株に対して底面給液法で857 g/株と収量は減少した。一方で、‘恋みのり’においては点滴給液法で901 g/株に対して底面給液法で1,310 g/株と顕著な収量増加が認められた。

地上部の収量と栽培終了時の根長を比較したところ、高い正の相関が認められた（ $R^2=0.998$ ）。株あたり1310 gの収量は、9.17t/10a（7,000株/10a）に相当する高収量であるが、このような生産を支えるには十分な根量（根長）が必要であることが示唆された。また、本試験で使用した底面給液法は点滴給液法に比べ、根域が狭く、給液量も相対的に制限されていたと考えられたが、‘恋みのり’ではこのような条件で根量を増やすことができ、クラスター状の根を発達させるなど特異な現象が認められた。

引用文献

- 1) 安部貞昭・宇留嶋美奈・山田芳文・畑山とも子, 2009, 大分方式Y型イチゴ高設栽培における「さがほのか」の早期多収技術, 大分県農林水産研究センター研究報告, 3: 45-57.
- 2) 壇和弘・菅野亘・中原俊二・後藤直子・本間由紀子・遊佐真奈美・岩崎泰永・高野岩雄・高山詩織・日高功太・高山智光・今村仁, 2019, 宮城県でのクラウン温度制御を用いたイチゴの促成栽培, 農研機構研究報告, 68: 10-21.
- 3) 岩崎泰永・吉田千恵・漆山喜信・吉田啓孝・斉藤貞文・山本聡史・林茂彦・池田英男・池田敬, 2012, 移動栽培装置を利用したイチゴの高密植栽培に適した栽培ベッドの間隔と養水分供給方法の検討, 園芸学研究, 11 (1): 49-57.
- 4) 川口哲平・大川千鶴・黒田史絵・アウン タエツ タヤピー・趙鉄軍・中野明正, 2021, 底面給液型養液栽培における酸素供給剤の培地添加はトマトの根系褐変を改善し収量を増加させる, 農業および園芸, 96 (4), 294-298.
- 5) 越川兼行・長谷部健一・安田雅晴, 2000, イチゴの高設ベンチ栽培システム「岐阜県方式」の開発 (1), 岐阜県農業技術研究所研究報告, 1: 1-8.
- 6) 森田茂紀・田島亮介監訳, 2008, 根の生態学, シュプリンガー・ジャパン, 東京, 225-227.
- 7) 中野明正・大川千鶴・黒田史絵・川口哲平, 2021, 冷風とCO₂の同時処理によるイチゴの根系発達促進と炭素同位体比による効率評価, 根の研究, 30 (3), 34-38.
- 8) 鶴山浄真・熊谷恵・重藤祐司, 2017, 山口県イチゴ推奨品種「かおり野」の選定, 山口県農林総合技術センター研究報告, 8: 26-32.
- 9) 吉田裕一・廣瀬泰久・森本由香里・後藤丹十郎, 2011, ピート栽培における培地量と給液制御方法がイチゴの生育と収量に及ぼす影響, 岡山大学農学部学術報告, 100: 17-23.