

令和 4 年 5 月 24 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K05994

研究課題名(和文) 生殖成長期のダイズにおける出液速度と葉の着生および莢先熟現象との関連性の解明

研究課題名(英文) Investigation of the relationship between the bleeding rate from the base of stem, leaves and the delayed stem senescence in the reproductive stage of soybean

研究代表者

山口 武視 (Yamaguchi, Takeshi)

鳥取大学・農学部・教授

研究者番号：30182447

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：ダイズ栽培で品質低下の原因となる莢先熟の発生原因を解明するために、31品種を圃場で栽培し、出液速度と各種形質を調査した。莢先熟の発生には品種間差異があり、密植にすると発生しやすいことが確認された。シンクに対してソースが過剰となる品種では莢先熟が発生しやすく、それは早生品種で顕著であった。

莢先熟となった品種の成熟期の出液速度は高く維持されているが、莢先熟指数が高い品種の着莢始期の出液速度は小さかった。したがって、着莢始期の養水分吸収能が低下していると、収穫期で莢先熟が発生しやすいことが明らかとなった。出液速度は土壌水分の影響を強く受けるが、土壌水分が莢先熟に及ぼす影響は小さかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国産ダイズの生産において、収量の向上と高品質確保はわが国の食料自給率向上のかなめである。機械収穫での品質低下の原因となるダイズの莢先熟のは、その発生原因の理解がまだ十分ではない。このため、この原因を究明することは国産ダイズの生産における栽培技術の確立に大きく貢献することになる。

一方、茎基部からの出液は、植物体内の水分生理を代表する調査形質であるが、莢先熟との関連性については不明な点が多い。莢先熟は体内水分が低下せず、葉が着生し続けることが問題であるため、植物体内の水分生理を代表する出液速度と莢先熟との関連性を明らかにすることは莢先熟発生のメカニズムを明らかにする上で大きな意義がある。

研究成果の概要(英文)：To investigate the causes of the delayed stem senescence, which is a cause of quality loss in soybean, 31 varieties were grown in the field and examined for between the bleeding rate from the basal part cut end of stem and various traits. The occurrence of the delayed stem senescence varied among the varieties. Dense planting tended to cause the delayed stem senescence. Varieties with more sources relative to the sink were more susceptible to the delayed stem senescence, and this was more pronounced in early maturing varieties.

The bleeding rate at maturity was high for the varieties in which the delayed stem senescence occurred, but the bleeding rate at beginning of the pod setting was low. Therefore, it is clear that reduced water absorption at the beginning of pod setting period causes the delayed stem senescence at harvest time. Although the bleeding rate was strongly affected by soil moisture, the effect of soil moisture on the delayed stem senescence was small.

研究分野：作物学

キーワード：莢先熟現象 ダイズ 出液速度 シンク/ソース比 品種間差異

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) ダイズ栽培において莢先熟の発生が問題になっている。莢先熟とは莢が十分に成熟し収穫可能な状態であるにもかかわらず、茎が水分と緑色を保ち続けている状態であり、機械収穫時に汚粒発生など品質低下の原因となる。申請者らは、この莢先熟が発生した個体は、登熟後半の出液速度が高いことを指摘している(山口ら 2011)。また、莢先熟の発生には品種間差異があると報告もあるが、その機構解明はまだ十分ではない。

(2) ダイズ茎基部からの出液速度と根の呼吸速度とは相関関係にあるが(馬ら 2004)、開花期以降の出液速度は不明な理由により大きく変動することがある。着莢盛期における出液速度は地上部葉面積の影響を受けること(小西ら 2015, 2016)より、着莢盛期以降の葉の着生の多少が茎基部からの出液速度を制御している可能性がある。一方、登熟後半に葉が落葉せず着生し続けると、莢先熟現象を引き起こす。したがって、着莢盛期以降の葉の着生と茎基部からの出液速度との関係性を解明することは、ダイズの水分生理面から莢先熟発生のメカニズムを解明する手掛かりになると考えられる。

2. 研究の目的

(1) 莢先熟の発生には、品種、播種期、病害虫、土壌の乾燥や登熟期の高温、シンク/ソースバランスなど多くの要因が関係していることが指摘されている。その中で、本実験では、伸育型、早晚性の異なる多くの品種を用いて、品種による莢先熟の発生の難易を調査し、莢先熟の発生に及ぼす出液速度と各種要因を明らかにしようとした。

(2) 上記の(1)で得た結果をもとに、莢先熟が発生しやすい数品種を選抜し、これらの莢先熟発生程度と土壌水分および出液速度との関係を明らかにしようとした。

3. 研究の方法

(1) 莢先熟発生の品種間差異と発生に及ぼす各種要因の解明(2019、2020年)

研究代表者が所属する大学で保有しているダイズ品種・系統(以下品種と称する)の中から伸育型と早晚性が異なる31品種を供試した。兩年とも、畑地圃場において無肥料で栽培した。2019年は標準密度(条間80cm×株間18cm)、2020年は標準密度(条間80cm×株間18cm)と密植(条間40cm×株間18cm)を設けた。2019年は粒肥大始期(R5)、2020年は着莢始期(R3)と粒肥大盛期(R6)にのり出液速度を測定した。安定した出液を得るために調査前日の夕方に3L/株の灌水を行い、蒸散抑制のために半透明のポリ袋で覆った。調査は午前9時頃に行い、初生葉の下約2cmを剪定鋏で切断し、切口に脱脂綿を押し当て、測定前後の増加量を出液量とし、茎当たり出液速度を算出した。出液採取後に、一定面積の根を掘り出して根重を測定し、地上部は葉面積および器官別乾物重を測定した。また、葉の繁茂度の指標として相対照度を測定し、土壌水分および地温も測定した。2020年はR6の時期に、蛍光強度F、蛍光の最大値Fm'、光化学系IIの光化学量子収率YII、電子伝達速度ETRをPAMクロロフィル蛍光測定器を用いて測定した。収穫期の残葉と茎緑色程度から6段階の基準を設定し(表1)、莢先熟指数を求めた。

表1. 莢先熟判定基準

指数	判定基準
0	青立ちなし
1	茎にわずかに緑色が残る
2	茎に緑色が残る
3	葉柄まで残る
4	葉身まで残る
5	ほとんど落葉していない

(2) 土壌水分と莢先熟発生との関係の解明(2021年)

これまでの実験結果で莢先熟が発生しやすい品種とされた「タチナガハ」、「エンレイ」、「タチスズナリ」に、対照品種として「サチユタカ」を用いて、計4品種を畑圃場で栽培した。土壌水分に差を付けるために、圃場に深さ約40cmの溝を2本南北方向に設置し、東から西に向かい溝1、1条、2条、3条、溝2、4条、5条、6条、7条の区とした。4品種とも6月10日に播種し、9月16日から週1回、溝1、2にかんがい水が満ちるまで入水する処理を開始し、収穫期の11月11日まで計7回行った。R3とR6の時期に草丈を測定し、R6のときに、出液速度と葉身、莢、莢の乾物重を測定した。成熟期(R8)に莢先熟指数を表1に従って判定した。また、入水翌日、3日後、6日後に各区画の地下10cm、15cmの土壌水分含水率を測定した。

4. 研究成果

(1) 莢先熟発生の品種間差異と発生に及ぼす各種要因の解明(2019、2020年)

① 莢先熟発生の品種間差異

表2に2019年と2020年の各品種の莢先熟指数と播種後日数を示した。用いた31品種のうち、莢先熟指数が1以上の品種は、2019年は12品種あり、莢先熟指数4が1品種、莢先熟指数3が4品種あった。2020年では、標準区11品種、密植区12品種で莢先熟指数が1以上であったが、

そのうち莢先熟指数 3 は 1 品種で、残りは 2 以下であった。両年にわたり、莢先熟が発生した品種は 11 あった。これにより、莢先熟の発生には品種間差異があることが明らかとなった。また、標準区か密植区のどちらかにのみ発生がみられたものは 6 品種あった。したがって、莢先熟は栽培条件によっても引き起こされることが確認された。そこで、莢先熟発生に関与する以下の要因について検討した。

② シンク・ソース比と莢先熟との関係

莢先熟の発生の一因として、シンク能とソース能とのバランスが崩れることで発生が助長されると考えられている（磯部ら 2011、鈴木ら 2017）。本実験では多くの品種を用いているので、シンク・ソース比が大きく異なる。そこで、まずは、この要因について解析を行った。

シンクサイズのデータを得ているのが 2020 年であるので、この年のデータを用いることとした。そして、シンクサイズは個体当たり粗粒重で代表させ（以下ここではこれを収量と称する）、ソースサイズは登熟中期の R6 の葉重を用いた。なお、葉重は葉面積と極めて高い相関関係にあるので、葉重は葉面積と同等と見なせる。

解析をするにあたり、個々の品種の収量と葉重を同じ莢先熟指数を示す品種群でまとめて、これらの形質の平均値を算出して検討することにした。そして、シンク/ソース比は各品種の個体当たり粗粒重を葉重で除した値（収量/葉重比）で代表させ、これと莢先熟指数との関係を求めたのが図 1 である。この図をみると、収量/葉重比が 2.5 程度では莢先熟指数は 0 であるが、収量/葉重比が 1.7、1.5、1.4 と小さくなるに従い、莢先熟指数が大きくなることわかる。すなわち、収量/葉重比に代表されるシンク/ソース比と莢先熟指数は密接に関係しており、シンク/ソース比が小さい、すなわち、シンクに対してソースが過剰となる品種では莢先熟が発生しやすいと言えることがあきらかとなった。

③ 早晩性と莢先熟との関係

成熟期間の日数の長い品種ほど莢先熟症状を示す傾向があること（井上 2005）や播種期を変えて早播きすると莢先熟が発生すること（磯部ら 2011）から、品種の早晩性も莢先熟に関与していることが想定されたので、早晩性と莢先熟との関係を検討した。

2020 年の R6 までの播種後日数を基準として、各品種を早生（7 品種）、中生（13 品種）および晩生（11 品種）に区分した（表 1）。莢先熟指数が 1 以上の品種は 2019 年は早生が 6 品種、中生が 3 品種、晩生が 3 品種あった。2020 年は、栽植密度を込みにすると早生が 7 品種全て、中生が 4 品

表 2. 各品種・系統の莢先熟指数と播種後日数

品種・系統	莢先熟指数			播種後日数	
	2019	2020		2019	2020
	標準	標準	密植	R5	R6
東北63号	3	0	1	69	96
エンレイ	3	2	2	69	96
だいち農林1号	2	2	2	76	96
タチスズナリ	2	2	2	75	96
東山81号	0	1	3	75	106
東山115号	3	2	2	72	106
兄	2	1	0	72	106
青にぶ	2	1	0	85	106
今田大豆	2	0	1	85	110
青ばつ	2	2	0	86	110
赤大豆	0	0	0	86	110
鞍掛	0	0	0	87	110
黒目	0	0	0	87	114
黒豆	0	0	1	87	114
LAREDO	0	0	0	87	114
雪転	0	0	0	87	114
フクユタカ	0	0	0	87	118
薄茶大豆	0	0	0	92	118
生娘	0	0	0	92	118
東山120号	0	0	0	96	118
銀大豆	0	0	0	96	124
三重大豆	0	0	0	95	124
秋大豆2号	0	0	0	105	124
小種	0	0	0	105	124
矢作	0	0	0	96	127
銀白	0	0	0	96	127
大野	2	1	2	105	127
河原	0	0	1	105	133
晩黒大豆	4	1	2	105	133
黒千石	3	0	0	105	133
天草	0	2	2	105	133

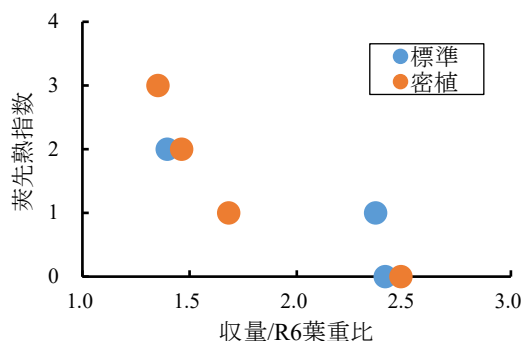


図 1. 収量/R6 葉重比と莢先熟指数との関係 (2020 年)

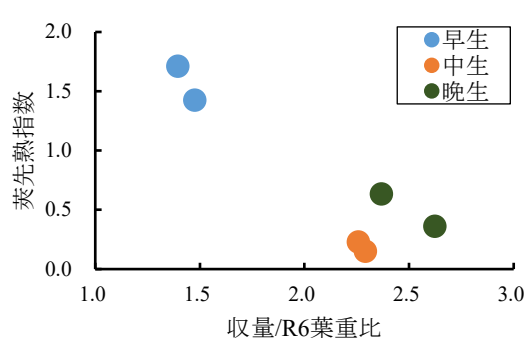


図 2. 早晩性における収量/R6 葉重比と莢先熟指数との関係 (2020 年)

種、晩生が4品種であった。そこで、図1にならって、早晩性グループごとにまとめて、収量/葉重比と莢先熟指数の平均値を求め、両者の関係を図2に示した。これをみると、収量/葉重比は早生が1.5と最も小さく、中生が2.3、晩生が2.6となった。これとは逆に莢先熟指数は早生1.4、中生0.2、晩生0.4と早生で高く、中生ではほとんど認められず、晩生はわずかであった。これより、早晩性によって莢先熟の発生に差があり、特に早生品種は莢先熟が発生しやすいことが明らかとなった。早生の特徴として、いずれの発育時期においても、莖断面積、地上部重、個体あたり葉面積は中生・晩生よりも小さい値であった。したがって、莢先熟の発生には、これらの要因が関与していることが考えられた。また、これらの要因は、いずれの時期においても密植区が標準区よりも小さい傾向にあった。したがって、莢先熟が発生しやすい品種には密植を行わないことが重要であると考えられた。

④出液速度と莢先熟との関係

ダイズにおける茎基部からの出液速度は幼植物においては、根の呼吸活性と密接な関係にあることを馬ら(2005)は認めている。しかし、根の木化が進む開花期以降の出液速度は大きく変動することも知られている。莢先熟は収穫期になっても体内水分が低下せず、このため残葉となるので、根の吸水能の高低が関与している可能性がある。そこで根の吸水能を茎基部からの出液速度で代表させて、莢先熟との関係を検討した。

2020年のR3の時期において、莢先熟指数ごとに出液速度の平均値を求め、莢先熟指数との関係を示したのが図3である。高い莢先熟指数の品種群の平均出液速度は小さく、出液速度と莢先熟指数は負の比例関係にあった。

一方、R6では、両者の関係は明確ではなかった(図4)。特にR6の密植の出液速度はいずれも $0.5\text{ g plant}^{-1}\text{ h}^{-1}$ 以下であり、この時期ではすでに水分生理面で衰えていたことが推察された。したがって、図3で示される負の比例関係から、出液速度が養水分吸収能を示す指標とするなら、着莢始期の養水分吸収能が低下していると、収穫期で莢先熟が発生しやすいことが明らかとなった。

R3の出液速度に関与する要因を探ると、莖断面積、土壤水分、地上部重および個体あたり葉面積とは正の比例関係にあり、地温とは負の比例関係にあった。そこで、これら要因の出液速度への関与度について重回帰分析を用いて検討した。まず、各種要因間のうち、地上部重と個体あたり葉面積は極めて高い相関関係にあり($r=0.909^{**}$)、同じものを変数として採用することになるので、ここでは個体あたり葉面積(LA)で代表させ、これと土壤水分(SW)、地温(ST)、莖断面積(SS)の4要因を独立変数とし、出液速度(BL)を従属変数とする重回帰分析を行った。その結果、

$$BL=0.00010\text{ LA}+0.0778\text{ SW}-0.0084\text{ ST}+0.0075\text{ SS}-0.345\quad R^2=0.443$$

がとなり、出液速度はこれら4つの要因で44%説明できることがわかった。各要因間の関与度は標準偏回帰係数の値で比較することができるので、正規化して標準重回帰式を求めると、

$$BL=0.188\text{ LA}+0.353\text{ SW}-0.034\text{ ST}+0.224\text{ SS}$$

となり、出液速度には、土壤水分が最も強く関与しており、次いで莖断面積、個体あたり葉面積の順であった。このことから、莢先熟に関与する時期の出液速度は土壤環境の影響を強く受けることが明らかとなった。したがって、莢先熟の発生を抑制するためには、着莢始期に十分な灌水を行い、日射が直接地面に当たって地温が上昇しないように葉を茂らせることが効果的であると推察された。

⑤光—光合成特性と莢先熟との関係

出液速度の日変化と日射強度が密接に関係していること(小西ら2016, 2017)が報告されている。また、総光合成速度 P_g ($\mu\text{ mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$)と光強度 I ($\mu\text{ mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$)の関係は2つの係数 a 、 b によって決められる直角双曲線 $P_g=bI/(1+aI)$ で近似され(Monji and Saeki1953)、光—光合成曲線として表される。また、2つの係数 a 、 b は光—光合成曲線の特長値として、光合成能力の解析、比較に用いることができる(Hozumi and Kirita1970)。特に、 b/a 値は光飽和時にお

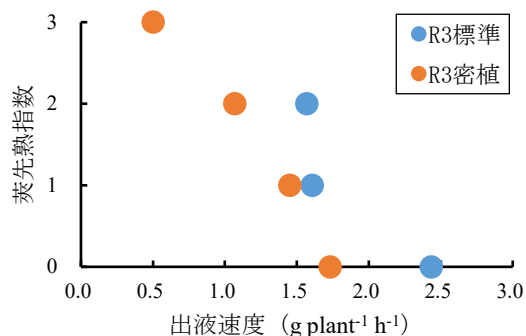


図3. 着莢期(R3)における出液速度と莢先熟指数との関係(2020年)

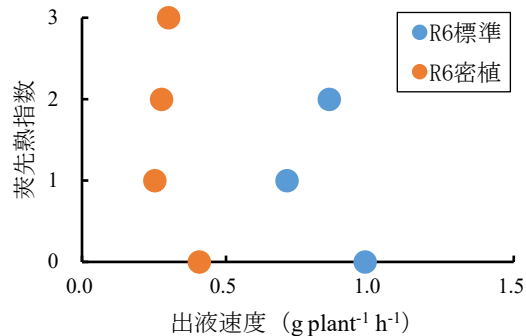


図4. 粒肥大盛期(R6)における出液速度と莢先熟指数との関係(2020年)

ける光合成速度（最大値）を表し、b 値は初期勾配を表す。b/a 値が大きいほど、強光域での光合成速度が高く、高照度下での生産性が良いことを示す。また、b 値が大きいほど、光-光合成曲線の初期勾配が大きくなり、弱光域での光合成速度が高いことを示している。このため、PAM クロロフィル蛍光測定器を用いて測定された 9 段階の PPFD と ETR 値を用いて、光-光合成特性を解析した。

その結果、早生は、中生と比べて、弱光域での光合成速度は高いが、強光域での光合成速度は低いことが確認できた。このことから、莢先熟の発生には、強光域での光合成速度が低いことが関係している可能性が示唆された。また、密植を行うと、弱光域での光合成速度が高く、強光域での出液速度が低くなることが確認できた。したがって、莢先熟が発生しやすい品種では密植を行わないことが重要であると考えられた。

(2) 土壌水分と莢先熟発生との関係の解明 (2021 年)

成熟期 (R8) の平均莢先熟指数は「タチナガハ」3.8、「エンレイ」1.8、「タチスズナリ」2.1 であり、対照品種の「サチユタカ」は 1.1 であった (図 5)。「タチナガハ」の莢先熟指数は他の 3 品種と有意差が認められた。土壌水分含水率の平均は地下 10cm が 8%、15cm は 13% となり、地下 15cm のほうが高くなった。溝 2 に最も近い 4 条よりも 5 条、6 条の方が地下 10cm、15cm とともにやや高い傾向にあったが、条ごとに土壌水分に明確な有意差は認められなかった。

R3 の平均草丈は「タチナガハ」は 43cm、「エンレイ」46cm、「タチスズナリ」40cm、「サチユタカ」42cm であった。条ごとでは、「タチナガハ」は 1 条、4 条、7 条が他の条に比べ小さかった。一方、「エンレイ」は 6 条、7 条が他の条より小さかった。R6 になると、「タチナガハ」の 1 条、2 条と 7 条に有意差があり、「サチユタカ」は 6 条を除き有意差が認められた。「エンレイ」と「タチスズナリ」で条ごとの有意差はなかった。但し、すべての品種において R3、R6 とともに溝 2 から遠い 6 条、7 条の草丈はほかの条に比べ小さくなっていった。

R6 の出液速度 ($\text{g plant}^{-1} \text{h}^{-1}$) の平均は「タチナガハ」0.29、「タチスズナリ」0.21、「エンレイ」0.24 であったのに対し、「サチユタカ」は 0.02 であった (図 6)。同様に R8 では「タチナガハ」0.36、「タチスズナリ」0.24、「エンレイ」0.07、「サチユタカ」0.07 となった (図 6)。R6、R8 とともに「サチユタカ」の出液速度は小さく、莢先熟指数が高かった「タチナガハ」と「タチスズナリ」の R8 の出液速度は高かった。

以上のことより、本実験では莢先熟の発生には、土壌水分の影響は小さいと推察された。しかし、品種間で比較すると、莢先熟指数が高い品種の生育後期の出液速度は高く維持されていることが明らかとなった。

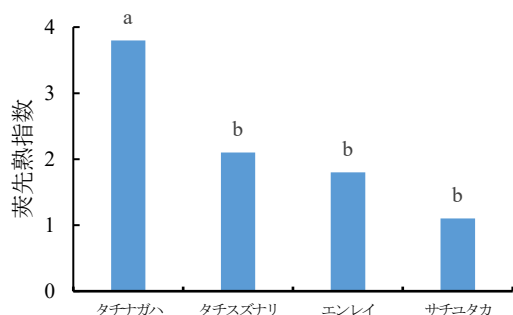


図 5. 各品種の莢先熟指数 (2021 年)
図中のアルファベットが異なるものは有意差あり (Tukey 検定)

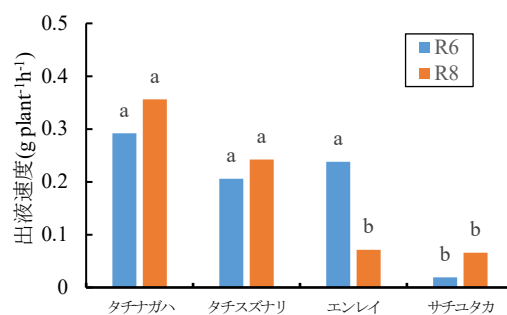


図 6. 粒肥大盛期 (R6) と成熟期 (R8) における出液速度 (2021 年)
図中のアルファベットが異なるものは有意差あり (Tukey 検定)

引用文献

- Hozumi, K. and Kirita, H. 1970. Bot. Mag. Tokyo 83: 144-151
- 井上 健一 2005. 北陸作物学会報 40: 75-77
- 磯部勝孝・関野崇子・名倉遼平・松浦里香・井上裕子・橋本千恵・高島徹・野々川香織・前川富也・石井龍一 2011. 日作紀 80: 408-419.
- 小西恵・山口武視・辻渉・中田昇・近藤謙介・野波和好 2015. 第 239 回日本作物学会講演会要旨: 159
- 小西恵・山口武視・辻渉・中田昇・近藤謙介・野波和好 2016. 日本作物学会第 241 回講演会要旨集: 30
- 小西恵・山口武視・辻渉・中田昇・近藤謙介・野波和好 2017. 日本作物学会第 242 回講演会要旨集: 47
- 馬啓林・山口武視・中田昇・田中朋之・中野淳一 2004. 日作紀 73: 431-435
- 馬啓林・山口武視・中田昇・中野貴章・田中朋之・中野淳一 2005. 根の研究 14: 3-8
- Monji, S. and Saeki, S. 1953. Jap. J. Bot. 14: 22-52
- 鈴木大輔・肥後昌男・磯部勝孝 2017. 日本作物学会関東支部会報 32: 36.
- 山口武視・吉村理奈・中田昇 2011. 第 232 回日本作物学会講演会要旨: 212

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------