

令和 4 年 5 月 13 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K22342

研究課題名(和文) 農業生態系を構築する植物個体と群落を橋渡しする分子機構の解明による環境調和型農業

研究課題名(英文) Environmentally sustainable agriculture by elucidating the molecular mechanisms bridging plants and communities that build agroecosystems

研究代表者

渡辺 正夫 (Watanabe, Masao)

東北大学・生命科学研究科・教授

研究者番号：90240522

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：単位面積当たり、播種する種子数を疎から密へ八段階で変化させた。一個体当たりの乾物重は最も疎である条件の生長がよいわけではなく、それよりも2段階程度密度が高い方が生育がよかった。この効果を「お友達効果」と名付けた。この「お友達効果」の原因・結果として、土壌中の金属イオン、根圏微生物、植物で発現する遺伝子について調査を行った。発現遺伝子、金属イオンでは栽培密度に連動した特徴的な変化はなかった。一方、根圏微生物叢は変化があることから、根圏微生物叢変化をさらに詳細に検討することが重要であると判断した。また、歴史史料などから類似の研究を調査したが、該当する結果は得られなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本の様に有効な農地が少なく、労働集約型農業の場合、往々にして必要播種数より多めに播種し、栽培途中で間引きを行う。間引きのタイミング・強度等は、篤農家の経験・伝承・勘に基づいており、科学的根拠に乏しい。一方、植物は幼少期、単独で生長するよりも幾つかの個体で小群落を形成した方が生長に有利であり、生育後期に過密による生長低下とは相反する。一方、先述のように従来の農作技術では対応が難しいような地球環境の変化、農業経営・栽培のグローバル化が迫っている。つまり、成育初期の小群落、間引きの科学的根拠の理解に基づく栽培法の改変ができれば、農業技術をゲームチェンジングでき、社会的な意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：The number of seeds sown per unit area was varied in eight steps from sparse to dense. The growth was not better under the sparsest dry matter weight per seedling, but was better when the density was about two levels higher than other conditions. This effect was named the "friend effect." As causes and consequences of this "friend effect," we investigated metal ions in the soil, rhizosphere microorganisms, and genes expressed in plants. There were no characteristic changes in expressed genes and metal ions linked to the cultivation density. On the other hand, there were changes in rhizosphere microflora, and we determined that it was important to examine rhizosphere microflora changes in more detail. Similar studies were also investigated from historical documents and other sources. However, no pertinent results were obtained.

研究分野：植物遺伝育種学

キーワード：バイオマス 栽植密度効果 植物-根圏相互作用 遺伝子発現 微量金属イオン動態

### 1. 研究開始当初の背景

山林のように、植物個体が生長による年次変化を伴いながらも、成熟した山林を1つの群落としてみると、ほとんど変化がない。一方、水田、畑作の場合には、季節や栽培される作目によって、群落構造は変化する。稲作の場合、二期作、三期作を除けば、日本国内での作型はほぼ一定している。一方、露地、施設園芸による野菜栽培では、その維持管理、生産環境調節は多くの労働力を必要とする。特に、近年の農業人口の高齢化により、従来の栽培技術等の発想を「ゲームチェンジング」な効率的農業技術の開発が求められている。

農作物栽培時、生育初期では、幼少な植物体を生長させる。日本の様に有効な農地が少なく、労働集約型農業の場合、往々にして必要播種数より多めに播種し、栽培途中で「間引き」を行う。この「間引き」のタイミング・強度等は、篤農家の経験・伝承・勘に基づいており、科学的根拠に乏しい一面がある。

一方、植物は幼少期、単独で生長するよりも幾つかの個体で小群落を形成した方が生長に有利という現象も知られており、生育後期に過密による生長低下とは相反する(図 1)。一方、先述のように従来の農作技術では対応が難しいような地球環境の変化、農業経営・栽培のグローバル化が迫っている。

つまり、「成育初期の小群落」、「間引き」の科学的根拠の理解に基づく栽培法の改変は、農業技術への「ゲームチェンジング」な試みである。換言すれば、生育上の「疎」と「密」状態の植物自身による理解を、分子レベルで理解できれば、グローバルな農業発展に寄与できる。

経験則から、「根張りの程度は、植物の上部の高さとほぼ一致する」といわれている。このことを反映している事実は、マツを庭木、あるいは盆栽栽培した場合、経年により大きさの違いは明確化する。また、果樹矮化栽培では、矮性台木により樹勢は弱まり、低木果樹として栽培できるが、台風等で折れることなく、根元から抜けるという被害が出ている。このことも、植物の土壌の根張りや土壌上部の生育が一定程度、相関があることを示している。

また、植物の根系は植物を「支持」するだけでなく、土壌中の金属イオンを効率的に吸収するための物質(ムギネ酸など)、植物の生長を制御する低分子化合物(分子ホルモン・ストリゴラクトンなど)が分泌されている。また、根系の情報を葉などの上部に伝達する「低分子ペプチド」なども明らかになり、根の重要性が今まで以上に注目されている。

### 2. 研究の目的

これらの経験則と知見の統合から「疎」と「密」の植物による理解は、植物体の根圏(根系)に相互影響の鍵があると考え、その因子を同定できれば、効率的にバイオマスを調整し、環境調和型農業の構築に貢献でき、農業体系を「コロンプスの卵」のような発想で転換できると考えた。本研究では、「疎」と「密」の根系での因子同定を目的とする。

### 3. 研究の方法

初期生育がよく、栽培が容易なアブラナ科の「ミズナ」を材料とした。栽培する土壌堆積に対して2つの仮定を行った。

(1)「疎」と「密」の効果を植物が占有する土壌体積による場合。(2)「疎」と「密」の効果を植物が占有する土壌体積に依存しない場合の2つの条件下で、植物の生長に影響を与えると考えられる「根から分泌される物質」、「根圏微生物との相互作用」、「土壌中の微量金属イオン動態」の調査を行った。

「根から分泌される物質」の場合、植物間相互作用を行う場合などの困難さから、根で発現する網羅的遺伝子発現で代替した。根圏微生物も微生物相、その種類などを根の観察、土壌微生物の網羅的ゲノム解析を行った。これまでの研究から、希土類金属添加により植物生育に促進的効果を見だしており、広く微量金属元素の動態を調査した。

さらに、こうした栽培条件による生育の差異が、歴史史料の農書などに記されていないか調査を行い、現時点で把握されていないような関連事象やその発生の背景について、歴史的視点とも比較しつつ分析した。

### 4. 研究成果

単位面積当たり、播種する種子数を疎から密へ8段階で変化させた。一個体当たりの乾物重は

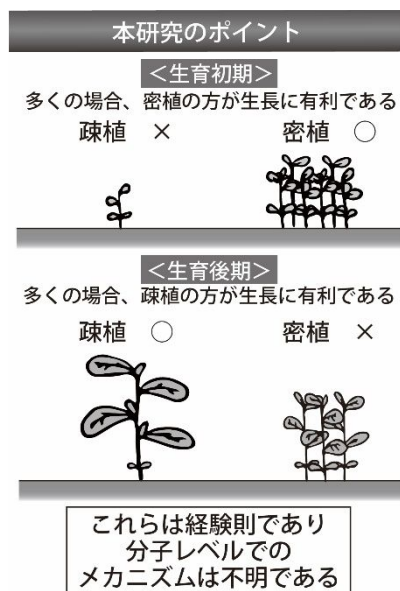


図 1. 栽培環境における「疎植」と「密植」の効果

最も疎である条件の生長がよいわけではなく、それよりも 2 段階程度密度が高い方が生育がよかった。この効果を「お友達効果」と名付けた。

この「お友達効果」の原因・結果として、土壌中の金属イオン、根圏微生物、植物で発現する遺伝子について調査を行った。発現遺伝子、金属イオンでは栽培密度に連動した特徴的な変化はなかった。一方、根圏微生物叢は変化があることから、根圏微生物叢変化をさらに詳細に検討することが重要であると判断した。また、歴史史料などから類似の研究を調査したが、該当する結果は得られなかった。

なお、本研究期間中に研究成果などの広報、情報の社会への発信ということとして、アウトリーチ活動を小中高校、一般市民向けに 167 件(8,021 人)を実施した。さらに、小中高校生から受け取った手紙・レポートに対して、全てにコメントを行った。本研究に連動したアウトリーチ活動として、小中高校の教員・保護者などから高い評価を得た。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Okamoto, T., Okamoto, M., Hikichi, E., Ogawa, M., Takada, Y., Suzuki, G., Takayama, S., and Watanabe, M.	4. 巻 95
2. 論文標題 Characterization of self-incompatible Brassica napus lines lacking SP11 expression.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Genes Genet. Syst.	6. 最初と最後の頁 111-118
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1266/ggs.19-00050	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Suwabe, K., Nagasaka, K., Windari, E. A., Hoshino, C., Ota, T., Takada, M., Kitazumi, A., Masuko-Suzuki, H., Kagaya, Y., Yano, K., Tsuchimatsu, T., Shimizu, K. K., Takayama, S., Suzuki, G., and Watanabe, M.	4. 巻 11
2. 論文標題 Double-locking mechanism of self-compatibility in Arabidopsis thaliana: the synergistic effect of transcriptional depression and disruption of coding region in the male specificity gene.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Front. Plant Sci.	6. 最初と最後の頁 576140
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fpls.2020.576140	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Murase, K., Moriwaki, Y., Mori, T., Xiao, L., Masako, C., Takada, Y., Maesaki, R., Mishima, M., Fujii, S., Hirano, Y., Kawabe, Z., Nagata, K., Terada, T., Suzuki, G., Watanabe, M., Shimizu, K., Hakoshima, T., and Takayama, S.	4. 巻 11
2. 論文標題 Mechanism of self/nonself- discrimination in Brassica self-incompatibility.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Commun.	6. 最初と最後の頁 4916
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-020-18698-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Windari, E. A., Ando, M., Mizoguchi, Y., Shimada, H., Ohira, K., Kagaya, Y., Higashiyama, T., Takayama, S., Watanabe, M., and Suwabe, K.	4. 巻 38
2. 論文標題 Two aquaporins, SIP1;1 and PIP1;2, mediate water transport for pollen hydration in the Arabidopsis pistil.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plant Biotechnol.	6. 最初と最後の頁 77-87
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5511/plantbiotechnology.20.1207a	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Osaka, M., Nabemoto, M., Maeda, S., Sakazono, S., Masuko-Suzuki, H., Ito, K., Takada, Y., Kobayashi, I., Lim, Y. P., Nakazono, M., Fujii, S., Murase, K., Takayama, S., Suzuki, G., Suwabe, K., and Watanabe, M.	4. 巻 94
2. 論文標題 Genetic and tissue specific RNA-sequencing analysis of self-compatible mutant TSC28 in Brassica rapa L. toward identifying the novel self-incompatibility factor.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Genes Genet. Syst.	6. 最初と最後の頁 167-176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1266/ggs.19-00010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Watanabe, M., Suzuki, G., Endo, M., Park, J.-I., Masuko-Suzuki, H., and Nonomura, K.	4. 巻 23
2. 論文標題 Nagaharu U.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chromosome Sci.	6. 最初と最後の頁 15-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11352/scr.23.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Fukushima, K., Kanomata, T., Kon, A., Masuko-Suzuki, H., Ito, K., Ogata, S., Takada, Y., Komatsubara, Y., Nakamura, T., Watanabe, T., Koizumi, S., Sanuki, H., Park, J.-I., Niikura, S., Suwabe, K., Fujii, S., Murase, K., Takayama, S., Suzuki, G., and Watanabe, M.	4. 巻 96
2. 論文標題 Spatio-genetic characterization of S receptor kinase (SRK) alleles in the naturalized populations of Raphanus sativus L. var. raphanistroides on Yakushima island.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Genes Genet. Syst.	6. 最初と最後の頁 127-137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1266/ggs.20-00066	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Mori, S., Shimma, S., Masuko-Suzuki, H., Watanabe, M., Nakanishi, T., Tsukioka, J., Goto, K., Fukui, H., and Hirai, N.	4. 巻 38
2. 論文標題 Pollen sterility with abnormal anther development of Japanese apricot in relation to foraging behavior of honeybees.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plant Biotechnol.	6. 最初と最後の頁 355-366
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5511/plantbiotechnology.21.0730a	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takada, Y., Mihara, Y., He, Y., Xie, H., Ozaki, Y., Nishida, H., Hong, S., Lim, Y. P., Takayama, S., Suzuki, G., and Watanabe, M.	4. 巻 10
2. 論文標題 Genetic diversity of genes controlling unilareral incompatibility in Japanese cultivars of Chinese cabbage.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plants	6. 最初と最後の頁 2467
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/plants10112467	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計20件(うち招待講演 4件/うち国際学会 5件)

1. 発表者名 福島和紀, 鹿股とほこ, 金あおい, 増子(鈴木)潤美, 高田美信, 尾形定義, 小松原幸弘, 中村幹, 渡邊卓実, 小泉沙織, 讃岐育, Jong-In Park, 新倉聡, 諏訪部圭太, 鈴木剛, 渡辺正夫
2. 発表標題 屋久島のハマダイコン野生集団における自家不和合性雌側因子SRKアレルの遺伝的多様性.
3. 学会等名 第43回日本分子生物学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡辺正夫
2. 発表標題 アブラナ科作物の生理・生態-遺伝、育種、生殖システムからの考察-
3. 学会等名 第21回日本有機農業学会大会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福島和紀, 鹿股とほこ, 金あおい, 増子(鈴木)潤美, 伊藤加奈, 尾形定義, 高田美信, 小松原幸弘, 中村幹, 渡邊卓実, 小泉沙織, 讃岐育, Jong-In Park, 新倉聡, 諏訪部圭太, 藤井壮太, 村瀬浩司, 高山誠司, 鈴木剛, 渡辺正夫
2. 発表標題 屋久島ハマダイコンの自然集団におけるS対立遺伝子の空間的遺伝構造の解析
3. 学会等名 日本育種学会 第139回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 尾関未帆, 小松憲治, 田中啓介, 大竹留未, 増子(鈴木)潤美, 高田美信, 渡辺正夫, 三井裕樹, 和久井健司
2. 発表標題 Brassica rapa ssp. rapa cv. 77Bで発現した核遺伝子型雄性不稔の原因遺伝子の特定と組織学的観察
3. 学会等名 日本育種学会 第139回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Watanabe, M., and Takayama, S.
2. 発表標題 Molecular mechanism of self-incompatibility in Brassicaceae.
3. 学会等名 2019 KSBS & SABRAO International Conference on Plant Breeding for Sustainable Development (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Watanabe, M.
2. 発表標題 Molecular mechanisms of self-incompatibility in Brassica.
3. 学会等名 Topic seminar in GSP on Chungnum University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ota, T., Kagaya, Y., Suzuki, G., Watanabe, M., and Suwabe, K.
2. 発表標題 Genomic structural variation in the self-incompatibility locus causes a transition from outcrossing to selfing in amphidiploid Arabidopsis kamchatica.
3. 学会等名 4th Edition of Global Conference on Plant Science and Molecular Biology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takada, M., Ota, T., Mizoguchi, Y., Ando, M., Kagaya, Y., Suzuki, G., Watanabe, M., and Suwabe, K.
2. 発表標題 Morphological aspect and molecular mechanism of Pollen hydration on pollination in Arabidopsis thaliana.
3. 学会等名 4th Edition of Global Conference on Plant Science and Molecular Biology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Watanabe, M.
2. 発表標題 Old story of collaborative research in Brassica crops between Japan and Korea.
3. 学会等名 2019 Korea-Japan (NRF-JSPS) Cooperation Program (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安藤晃, 渡辺正夫, 伊藤 幸博, 久利美和, 中村肇, 下山せいら, 下山武文
2. 発表標題 「科学者の卵養成講座」を通じた高大連携教育の実践.
3. 学会等名 日本工学教育協会. 第67回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木剛, 高田美信, 三原淳希, 何雨徽, 謝浩林, 尾崎友亮, 高山誠司, 渡辺正夫
2. 発表標題 トルコ由来花粉を拒絶する種内一側性不和合性の日本産ハクサイにおける遺伝的多様性.
3. 学会等名 園芸学会 令和元年度秋季大会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 高田美信, 三原淳希, 何雨徽, 謝浩林, 尾崎友亮, 鈴木剛, 高山誠司, 渡辺正夫
2. 発表標題 ハクサイ品種における一側性不和合性遺伝子多型と優性非機能型の柱頭側因子SUI1-10
3. 学会等名 日本育種学会 第136回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小川萌菜, 岡本拓実, 岡本美咲, 引地恵梨, 高田美信, 鈴木剛, 高山誠司, 渡辺正夫
2. 発表標題 Brassica napusを用いた自家不和合性系統と和合性系統の交雑後代における自家不和合性表現型の遺伝学的解析
3. 学会等名 日本育種学会 第136回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡本拓実, 岡本美咲, 引地恵梨, 小川萌菜, 高田美信, 鈴木剛, 高山誠司, 渡辺正夫
2. 発表標題 Brassica napus で見出したS遺伝子に非依存的な自家不和合性形質の同定
3. 学会等名 日本育種学会 第136回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡辺正夫
2. 発表標題 おわりに-植物の生殖からみた分子育種-
3. 学会等名 日本遺伝学会第91回ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金あおい, 高田美信, 清水元樹, 高山誠司, 鈴木剛, 小林恭士, 渡辺正夫
2. 発表標題 B. rapa近交系統間交雑時に生じた新規受粉時一側性不和合性現象の解析
3. 学会等名 日本育種学会第140回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井口翔, 徳永達也, 竹中悠人, 渡辺正夫, 石水毅
2. 発表標題 低光強度下トマト根の伸長における希土類元素の影響
3. 学会等名 日本農芸化学会 2022年度京都大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鄧文昊, 高田美信, 大坪嘉行, 渡辺正夫, 永田裕二
2. 発表標題 細菌由来の有機塩素系殺虫剤分解に関わるデハロゲナーゼを発現するシロイヌナズナ植物の作製
3. 学会等名 日本農芸化学会 2022年度京都大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 菅波眞央, 小島創一, 吉田英樹, Fanmiao Wang, 森中洋一, 渡辺正夫, 松田幹, 松岡信
2. 発表標題 ゲノム育種の加速化に有効なレガシーデータを活用したGWAS
3. 学会等名 日本作物学会第253回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金あおい, 高田美信, 清水元樹, 高山誠司, 鈴木剛, 小林恭士, 渡辺正夫
2. 発表標題 Brassica rapa における小国カブの近交系統間で起きる一側性不和合性を制御する雌雄因子の同定に向けた遺伝学的解析
3. 学会等名 日本育種学会第141回講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 武田和哉, 渡辺正夫	4. 発行年 2019年
2. 出版社 勉誠出版	5. 総ページ数 240
3. 書名 菜の花と人間の文化史--アブラナ科植物の栽培・利用と食文化--	

1. 著者名 渡辺正夫	4. 発行年 2021年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス出版	5. 総ページ数 454
3. 書名 "植物における生殖の不思議と自家不和合性", In "改訂 遺伝学 遺伝学用語集 対訳付き(日本遺伝学会監修)"	

1. 著者名 Okamoto, T., Wei, X., Mehraj, H., Rashed Hossain, M., Akter, A., Miyaji, N., Takada, Y., Park, J.-I., Fujimoto, R., Nou, I.-S., and Watanabe, M.	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Springer International Publishing	5. 総ページ数 540
3. 書名 Chapter 2, Chinese Cabbage ( <i>Brassica rapa</i> L. var. <i>pekinensis</i> ) Breeding: Application of Molecular Technology, In "Advances in Plant Breeding Strategies: Vegetable Crops (Volume 10: Leaves, Flowerheads, Green Pods, Mushrooms and Truffles	

1. 著者名 渡辺正夫, 高山誠司	4. 発行年 2022年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 690
3. 書名 "自家不和合性", In "遺伝学の百科事典"	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>東北大学大学院生命科学研究科 植物分子育種分野  <a href="http://www.ige.tohoku.ac.jp/prg/watanabe/">http://www.ige.tohoku.ac.jp/prg/watanabe/</a>          コロナ禍ではあるがリモートでのアウトリーチ活動を167件(8,021人)に対して行い、いずれのところでも盛況であり、次年度以降の継続を要請された。</p>
--

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
研究分担者	南澤 究  (Minamizawa Kiwamu)  (70167667)	東北大学・生命科学研究科・特任教授    (11301)	
研究分担者	牧野 知之  (Makino Tomoyuki)  (60354106)	東北大学・農学研究科・教授    (11301)	
研究分担者	武田 和哉  (Takeda Kazuya)  (90643081)	大谷大学・文学部・教授    (34301)	

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		
韓国	順天大学	忠南大学	