

[別紙 2]

論文審査の結果の要旨

申請者氏名 花 山 奨

本論文は、水田における田面水の熱対流（鉛直対流および水平対流）の速度を高精度で計測し、熱対流が土壌・田面水間の物質循環に及ぼす影響を詳細に解明したものである。特に、新規に改良した測定装置で、土壌面に単純に水を湛水させた場合とイネのような植生存在下で水を湛水させた場合の熱対流の違いを明らかにしたこと、田面水の熱対流が土壌・田面水間の物質循環に及ぼす影響を詳細に解明したことに、独創性がある。

第 1 章は、序論を述べた。すなわち、本研究の目的は、田面水の熱対流現象における鉛直対流・水平対流の実態を解明すること、および、熱対流が田面水の酸素濃度変化と土壌中のリン溶出に及ぼす影響を明らかにすることである、とした。また、流体の熱対流の原理（ベナール対流やヒートアイランド現象）から見た本研究の位置づけを明確にした。

第 2 章は、田面水の熱対流速度を測定するための装置開発について述べた。特に、Fujimaki らが開発した交流電源対流測定装置を直流電源装置に改良したこと、および、直径 0.11mm のコンスタンタン線に水中で付着する気泡の自動除去装置を考案して対流速度 0.4~2.0mm/s を高精度で測定できるシステムを構築したことについて、オリジナリティーがあることを主張した。

第 3 章は、田面水の熱対流速度の測定精度向上について述べた。すなわち、流速が大きいときには精度良く測定可能であるが、流速が 0~0.4mm/s 程度に小さいときには著しく精度が低下するので、これを克服するための装置改良を行った。ここでは、ニッケル・コンスタンタン線の近傍で発生する発熱近傍流が測定誤差の原因であることを確認し、印加電圧を下げて発熱量を最小限に抑えることにより、測定誤差を除去できることを実証した。このことにより、田面水の熱対流速度を精度よく測定可能な範囲を、0~0.4mm/s を含む 0~2.0mm/s とすることができた。

第 4 章は、これまで測定されたことのない、イネの存在下での田面水の熱対流測定について述べた。すなわち、180×180cm のモデル実験水田を用い、草丈約 90cm のイネが存在する条件下での田面水熱対流速度を測定した。一般に、上面が高温、底面が低温の湛水では、対流の無い安定した状態が保たれると言われているが、実際には 0.4~0.6mm/s の熱対流が存在した。これは、田面水温度に植生が影響し、温度の面的不均一性が発生し、このことが田面水の水平対流を惹き起こしたと考察し、田面水温度を面的に測定したところ、温度分布の不均一性が認められた。このことは、水平対流とみなされる熱対流が、主として太陽光の豊富な昼間に生じていたこととも整合する。

第 5 章は、第 6 章で田面水の熱対流とリン溶出の関係を論ずるための準備的章である。すなわち、土壌から田面水へのリン溶出に対する田面水の DO（溶存酸素）や pH の影響に関して野外モデル実験を行ったことについて述べた。その結果、モデル水田土壌において、

田面水の pH が 9 以上になるとリンが溶出することを確認した。これは、太陽光によって水中藻類の光合成が起これ、田面水に酸素と水酸化イオン (OH⁻) が放出され、このことが DO と pH を上昇させたものであると結論した。

第 6 章は、熱対流が水田土壌からのリン溶出に及ぼす影響について述べている。田面水の熱対流速度が藻類の光合成に影響することを考慮して、まず初めに所定の熱対流速度を発生させる装置を設計・作成した。すなわち、実際の田面水の熱対流速度は 1mm/s 以下という小さい値になることがわかっているので、こうした小さい速度を安定的に発生させる必要があり、大気・水面間の蒸発を防止する透明フィルムを水面に設置したことでその目的を達成した。この装置において、田面水の熱対流速度と田面水中に溶出するリン濃度の関係を調べたところ、対流速度 0.14mm/s では 0.65mg/L であった田面水のリン濃度が、対流速度 0.52mm/s では 1.7mg/L という、2.6 倍の濃度になった。これは、見かけ上、田面水の熱対流速度が大きいほど水田土壌から田面水へのリン溶出が促進されたことを示しているが、そのメカニズムとしては、熱対流が水酸化イオン (OH⁻) をより多く輸送することで田面水の pH を高く維持し、その結果リン溶出が促進されたものと結論した。

第 7 章は全体の結論を述べており、田面水の熱対流を測定する新しい装置の考案に成功したこと、この装置を用いて田面水の鉛直対流と水平対流の存在を確認したこと、そして、田面水の熱対流が水田土壌からのリン溶出現象に大きな影響を与えていることを述べた。

以上要するに、本論文は、田面水の熱対流現象の実態を解明し、土壌肥料学的に有効性の高いリンの溶出につき、熱対流現象との密接な関連性を発見したものであり、学術上、応用上貢献するところが少なくない。よって、審査委員一同は本論文が博士 (農学) の学位論文として価値あるものと認めた。