



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Mean-Field Kinetic Theory Based Study of Boundary Condition at Vapor-Liquid Interface [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	今, 美沙紀
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12761号
Issue Date	2017-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/65564
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Misaki_Kon_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 今 美沙紀

審査担当者 主 査 教 授 渡部 正夫
副 査 教 授 大島 伸行
副 査 教 授 村井 祐一
副 査 教 授 矢野 猛 (大阪大学大学院工学研究科)
副 査 准教授 小林 一道

学位論文題名

Mean-Field Kinetic Theory Based Study of Boundary Condition at Vapor-Liquid Interface

(気液界面における境界条件の平均場分子運動論に基づく研究)

気液二相系において、気液界面を通した熱・物質輸送は身近な自然現象として観測されるだけでなく、工学的にも応用範囲の広い現象である。特に、気液界面を通過する質量流束(正味の蒸発または凝縮)は、気泡の運動などに影響を与えることが知られている。近年では、気泡崩壊時に生じる局所的な高温・高圧場を新素材開発や医療へ応用する新技術が提案されており、正味の蒸発・凝縮を伴う気液二相流れの精緻な予測が求められている。

正味の蒸発・凝縮による質量流束は、界面を通過する分子数の不釣り合いによって生じる微視的な現象である。しかし、多くの流体力学解析では界面近傍の微視的な現象を無視した簡易モデルを用いて正味の蒸発・凝縮による質量流束が予測されてきた。これらのモデルは正味の蒸発・凝縮を伴う気液二相流れの大枠を捉えるためには有用であるが、この結果が物理現象を正しく反映しているという保証はない。

当該研究では、界面近傍の微視的な現象を考慮することで、正味の蒸発・凝縮による質量流束を適切に予測するためのモデル(気液界面の境界条件)を提案することを目指す。このための理論として、分子気体力学が有用となる。分子気体力学は分子の統計的性質を表す関数から蒸気または気体の流体现象を記述する理論体系である。この理論体系において、気液界面と分子の相互作用は境界条件(以下、KBC)として取り入れられる。このような気液界面の KBC を課した分子気体力学解析により、界面近傍の微視的な現象を記述することが可能となる。

更に、気液界面と界面から離れた無限遠方での KBC を課した分子気体力学解析により、流体力学方程式系のための境界条件を導出する手法が提案されている。この解析についてはこれまでの研究により一般的な理論体系が構築されているが、ここで用いられている KBC は単なる「数理モデル」であるという問題点が残されている。これに対して、分子計算により界面近傍の分子プロセス(蒸発・反射・凝縮)を適切に反映した KBC を提案するというのが本研究の立場である。

分子計算により KBC を調査するという研究例はこれまでにいくつか存在する。これらの多くは、KBC に含まれる未知係数を蒸発係数・凝縮係数として、界面近傍の分子プロセスと関連付けて定義することを試みている。しかし、同じ定義に従っているにも関わらず、各研究により蒸発係数・凝縮係数の値が異なることが報告されており、これらの係数の定義やその値については、統一的な見解が得られていないのが現状である。この要因は分子計算のみでは界面近傍の分子プロセスを一意

的に区別することができないためである。これに対して、本研究では、分子プロセスによらない、より基本的な法則から蒸発係数・凝縮係数を決定する方法を提案する。この法則は、いわば、気液界面における質量流束の保存則を微視的なスケールに拡張したもの（以下、質量流束の関係式）である。

当該研究では、第一に、空間一次元における定常な正味の蒸発・凝縮問題について平均場運動論に基づく分子計算を実施した。この分子計算方法は従来用いられてきた分子動力学計算よりも少ない計算負荷で正味の蒸発・凝縮を伴う気液二相系についての分子計算を実施することが可能であるという利点がある。この分子計算により、160 条件の正味の蒸発・凝縮下において質量流束の関係式を定式化した。また、定式化した質量流束の関係式から求めた蒸発係数と凝縮係数の値は等しく、液体温度のみの関数となることを明らかにした。

第二に、質量流束の関係式から求めた蒸発係数・凝縮係数の物理的意味について考察した。ここでは、蒸発分子が液体のみの情報を持つ仮定の下で算出した蒸発係数・凝縮係数と、質量流束の関係式から求めたこれらの係数との比較を行い、これら二つの方法から求めた蒸発係数・凝縮係数の値が一致することを示した。この結果から、蒸発分子が液体の情報のみを持つという仮定の下で、蒸発係数・凝縮係数を一意的に定義することに成功した。

第三に、ここまで考えていた計算系とは異なる 2 つの気液二相系について分子計算を実施することで、求めた蒸発係数・凝縮係数の結果が計算系に依存するものではないことを検証した。

これを要するに、筆者は統一の見解が得られていなかった蒸発係数・凝縮係数の定義やその値を一意的に決定し、分子気体力学解析のための境界条件 (KBC) を構築するための方法論を提出した。ここで構築した KBC を用いた分子気体力学解析により、従来のモデルでは無視されていた界面近傍の微視的な現象を適切に反映した流体力学方程式のための境界条件を導出することが可能となる。これらの成果は、正味の蒸発・凝縮が支配的となる気液二相流に関わる流体力学に対して貢献するところ大なるものがある。よって、筆者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める。