HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Fluorescence diffuse optical tomography using time-domain peak time asymptotic analysis [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	陳, 樹立
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第16033号
Issue Date	2024-06-28
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/92912
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Shuli_Chen_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士の専攻分野の名称　博士（理学）　　氏　名　陳 樹立

審査担当者	主 査　教 授	久保　英夫
	副 査　教 授	眞崎　聡
	副 査　准教授	黒田　紘敏

学 位 論 文 題 名

Fluorescence diffuse optical tomography using time-domain peak time asymptotic analysis
（時間領域ピーク時間の漸近解析による蛍光光拡散トモグラフィー）

博士学位論文審査等の結果について（報告）

生体内の癌組織やその付近にあるリンパ節等の関心部位の同定として、蛍光光拡散トモグラフィー、ポジトロン断層法(PET)，X線CT，核磁気共鳴イメージング（MRI)などが知られている。中でも蛍光光拡散トモグラフィーは、予め静脈注射により関心部位に注入された蛍光物質と励起光を用いて、関心部位を発光させる事により同定する方法である。安全に使える蛍光物質の存在、簡便で廉価な同定法である等の理由により、蛍光光拡散トモグラフィーの実用化が期待されている。本学位論文は，その数学解析や逆問題への応用について、陳氏が挙げた研究成果を纏めたものである.

第一章は緒言である.

第二章では，蛍光光拡散現象の数理モデルについて解説している。この現象は励起光とその放射光を表す２つのBoltzmann輸送方程式がソース項で連成された方程式系として記述されるが、その未知関数は光子の時間、位置、飛行方向、エネルギーの７変数からなるため、数値計算をするには計算量が膨大となり至難の業である。そのため、実用的な蛍光光拡散トモグラフィーでは、Boltzmann輸送方程式の解の強度と流速が近似的に満たす方程式の第一近似として得られる、２つの拡散方程式がソース項で連成された方程式系（以下、連成拡散方程式系と呼ぶ）が用いられる。前述の関心部位の情報は、ソース項の中で関心部位の蛍光色素の吸収係数と励起項の解との積として表現される。以下では、この係数を吸収係数と呼ぶ。

第三章では、本学位論文において重要な役割を果たす、時間領域におけるピーク時間と呼ばれる量が導入されている。これは連成拡散方程式系の放射光の最大値を与える時刻であるが、具体的に計算することは難しい。この困難を克服するために、関心部位の深さ方向に関する漸近解析を行い、近似的なピーク時間を誤差評価と共に導いている。

第四章では、蛍光光拡散トモグラフィーの数理解析を論じている。具体的には、連成拡散方程式系の吸収係数の特性(関心部位の位置、吸収係数の強度等)を、この方程式系が定義されている空間領域の境界の一部における放射光の値（以下、計測データと呼ぶ）を用いて求める問題となる。この問題について非線形最小二乗法を用いた多くの先行研究はあるが、適正な初期値の選択という問題を抱えてしまうばかりか、問題の本質が見えなくなる嫌いがある。陳氏は吸収係数がデルタ関数により表せる場合に、関心部位を同定するにあたり、漸近的なピーク時間が大変有効な指標であることを見出し、蛍光光拡散トモグラフィーの数学的に厳密な取り扱いを展開している。

第五章では、第四章での議論を基に、励起光の照射位置と放射光の計測点の位置、そして吸収係数のデルタ関数の位置が、ピーク時間とどのように関係するかを漸近解析により解明し、二分法と組み合わせることにより、蛍光光拡散トモグラフィーの問題に対して非常に有効な数値的解法を提案している。

第六章では吸収係数がデルタ関数の線形結合として表せる場合に、また第七章では関心部位が体積をもつ場合に、第五章までに確立した手法を応用した解析を行っている。

第八章は結語である。

以上のように、陳氏は蛍光光拡散トモグラフィーにおける逆問題に関して、そのモデル方程式系の解の著しい特性であるピーク時間に着目し、その漸近解析を通して数学的に厳密で、数値解析的にも有用な解法を与えた。よって，著者は北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。