

高校物理における量子論の取り扱い^(*)

福岡教育大学大学院 市木 智也^(**) 福岡教育大学物理学教室 松崎 昌之

概要 平成30年3月30日に高等学校学習指導要領の改訂が行われ、令和4年度から年次進行で実施される。今回の改訂において「原子」単元における「物理が築く未来について」の内容に量子論が相対論と共に明示的に取り上げられるようになった。本稿では、国内外での高校物理で量子論に関連する内容がどれほど取り上げられているかについて比較調査する。

キーワード 高校物理、新学習指導要領、量子論

1. 目的

高等学校の数学及び理科において、平成30年3月30日に高等学校学習指導要領の改訂が行われた。この新高等学校学習指導要領等は令和4年度から年次進行で実施される。今回の改訂において「原子」単元における「物理が築く未来について」の内容に量子論が相対論と共に明示的に取り上げられるようになった。ここでは、日本の物理教育で量子論に関連する内容がどれほど取り上げられているかについて各出版社が発行している現行の教科書の比較を行った上で、ヨーロッパと日本において量子論の取り扱いにどのような違いがあるかを考察したい。

2. 高等学校学習指導要領の変更点

平成21年学習指導要領¹⁾から平成30年学習指導要領²⁾への改訂において物理分野「原子」の単元の「物理学が築く未来について」に注目した。学習指導要領中の文章では次のような改訂が行われている。

表1 高等学校学習指導要領の変更点

平成21年学習指導要領 物理学が築く未来について ここでは、 <u>物理探査</u> 、 <u>ナノテクノロジー</u> 、 <u>物質科学</u> 、 <u>バイオメカニクス</u> 、 <u>宇宙</u> 、 <u>先端の物理学の理論</u> に着目して、今後の発展が期待されている物理学とその応用について、例えば次のような具体的な事例を紹介し、物理学が科学技術の基盤となっていることを理解させるとともに物理学が築く未来への夢をはぐくむ。
↓
平成30年学習指導要領 物理学が築く未来について ここでは、 <u>量子論</u> 、 <u>相対論</u> 、 <u>宇宙論</u> など <u>先端の物理学の理論</u> や、 <u>ナノテクノロジー</u> 、 <u>バイオメカニクス</u> 、 <u>物質科学</u> 、 <u>物理探査</u> (<u>地球物理学的探査</u>)など今後の発展が期待されている物理学とその応用について、例えば次のような具体的な事例を紹介し、物理学が科学技術の基盤となっていることを理解させるとともに物理学が築く未来への夢をはぐくむ。

この改訂では、量子論が文章の始まりに位置付けられている。このことから平成30年学習指導要領においては、量子論が重要視されていることや今回の改訂をもとに作成される教科書に量子論に関連する項目が増えることが考えられる。

3. 日本の高校物理における量子論に関する項目の取り扱い

ここでは、平成21年学習指導要領に応じて作成された教科書の「原子」の単元において量子論に関連する項目がどのように取り上げられているかを比較する。ここで取り上げる量子論に関連する項目は次の6つである。

- ・黒体放射
- ・ボーアの原子模型
- ・離散エネルギー、線スペクトル
- ・粒子と波動の二重性
- ・ド・ブロイ波
- ・不確定性原理

今回は、東京書籍、啓林館、実教出版、数研出版の4つの出版社から出版されている教科書（平成24年3月検定済み）を比較し、以下に結果を示している。

表2 取り扱い内容の比較（黒体放射）

	黒体放射
東京書籍	・記述なし（プランク定数の記載あり）
啓林館	・記述なし（プランク定数の記載あり）
実教出版	・記述なし（プランク定数の記載あり）
数研出版	・記述なし（プランク定数の記載あり）

表 3 取り扱い内容の比較（ボーアの原子模型）

	ボーアの原子模型
東京書籍	・ラザフォードの原子模型の困難を克服するために量子条件や振動数条件を記述 ・トムソンのモデル、長岡のモデルについての記述なし
啓林館	・トムソンのモデル、長岡のモデル、ラザフォードの原子模型についての記述 ・量子条件や振動数条件の記述
実教出版	・トムソンのモデル、長岡のモデル、ラザフォードの原子模型についての記述 ・量子条件や振動数条件の記述
数研出版	・トムソンのモデル、長岡のモデル、ラザフォードの原子模型についての記述 ・量子条件や振動数条件の記述

表 4 取り扱い内容の比較（離散エネルギー・線スペクトル）

	離散エネルギー・線スペクトル
東京書籍	・水素原子のスペクトルについての記述 ・振動数条件の説明の中でエネルギー準位についての記述 ・水素原子のエネルギー準位の導出
啓林館	・水素原子のスペクトルについての記述 ・振動数条件の説明の中でエネルギー準位についての記述 ・水素原子のエネルギー準位の導出
実教出版	・水素原子のスペクトルについての記述（画像なし） ・振動数条件の説明の中でエネルギー準位についての記述 ・水素原子のエネルギー準位の導出
数研出版	・水素原子のスペクトルについての記述 ・振動数条件の説明の中でエネルギー準位についての記述 ・水素原子のエネルギー準位の導出

表 5 取り扱い内容の比較（粒子と波動の二重性）

	粒子と波動の二重性
東京書籍	・光電効果、ブラッグ条件、コンプトン効果の記述
啓林館	・光電効果、ブラッグ条件、コンプトン効果の記述 ・微弱な光子によるヤングの干渉実験
実教出版	・光電効果、ブラッグ条件、コンプトン効果の記述 ・コラム：電子波によるヤングの干渉実験
数研出版	・光電効果、ブラッグ条件、コンプトン効果の記述

表 6 取り扱い内容の比較（ド・ブロイ波）

	ド・ブロイ波
東京書籍	・物質の波動性として記述あり ・電子の物質波を電子波という
啓林館	・粒子の波動性として記述あり
実教出版	・電子の波動性の中にド・ブロイ波の記述あり
数研出版	・粒子の波動性として記述あり ・電子の物質波を電子波という

表 7 取り扱い内容の比較（不確定性原理）

	不確定性原理
東京書籍	・記述なし
啓林館	・粒子の波動性の中に記述あり
実教出版	・記述なし
数研出版	・粒子の波動性の中に記述あり ・量子力学というワードを用いて説明している

4社の教科書を比較した結果、ボーアの原子模型、離散エネルギー・線スペクトル、粒子と波動の二重性、ド・ブロイ波については教科書ごとに大きな差は見られなかった。一方で前期量子論のはじまりであるプランクの輻射理論に大きく関わる黒体放射については、4社全ての教科書で記述がなかった。また、量子力学における位置と運動量の重要な関係を説明した不確定性原理についての記述は2社の教科書のみにあった。

4. ヨーロッパ各国と日本における量子論に関する項目の取り扱い

量子論に関する項目についてヨーロッパ各国（ヨーロッパ各国の量子論の取り扱い³⁾から引用）と日本との比較を行った。日本との比較においては、平成 30 年度東京都の都立

高等学校及び中等教育学校（後期課程）で採用が多かった教科書（数研出版）を比較対象としている。

日本の教科書 4 社を比較した結果と同様に，ボーアの原子模型，離散エネルギー・線スペクトル，粒子と波動の二重性，ド・ブロイ波についてはヨーロッパ各国でも大きな違いは見られなかった。ここでは，日本の教科書 4 社で違いがみられた黒体放射と不確定性原理についてヨーロッパ各国と日本で比較を行った。結果を以下に示す。

表 8 ヨーロッパ各国と日本の比較（黒体放射）

	黒体放射	不確定性原理
Japan (数研出版)		●
UK (Scotland)	●	●
UK (England)	●	
Netherlands	●	●
Denmark		
Norway	●	●
Finland	●	
France		
Italy	●	●
Sweden	●	
Spain	●	●

量子論の取り扱いにおけるヨーロッパ各国と日本の大きな違いは，比較対象となっていたヨーロッパのほとんどの国では黒体放射が取り扱われているのに対して，日本では黒体放射についての取り扱いがないことである。また，日本と同様に不確定性原理については，ヨーロッパ各国でも取り扱っている国が多くないことが分かる。

5. 結論

学習指導要領の改訂に伴い，量子論に関連する項目（黒体放射，ボーアの原子模型，離散エネルギー・線スペクトル，粒子と波動の二重性，ド・ブロイ波，不確定性原理）の取り扱いについて 4 社の教科書を比較した。現状の教科書には前期量子論の始まりであるプランク輻射論に大きく関わる黒体放射について，4 社の教科書すべてに記述がないという結果が得られた。また，不確定性原理については日本では 4 社中 2 社の教科書に記述があった。一方，ヨーロッパでは，黒体放射について多くの国が取り扱っていることから，量子論を取り扱う際に，黒体放射が重要であることが分かった。そのため，平成 30 年の学習指導要領に沿って量子論を取り上げを考える際に，黒体放射についての記述が教科書にあることが望ましい。また前期量子論の先駆けとなったボーアの原子模型以前に，長岡モデルという日本人が考えた原子模型が存在したことから，その歴史を

教科書に記述することで量子論をより生徒になじみ深いものにできると考えられる⁴⁾。

(*) 本稿は，当時大学院生であった市木が，松崎との共著による 2020 年の日本物理教育学会九州支部大会口頭発表予稿として準備したものであるが，同大会がコロナ禍によって中止になったことにより未発表となっていたものであり，今年度大会で研究室学生による後続研究が発表されるのにあわせて投稿するものである。

(**) 現所属：福岡市立下山門中学校

引用文献

1) 文部科学省，高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編，実教出版（2014）
2) 文部科学省，高等学校学習指導要領（平成 30 年告示）解説 理科編 理数編，実教出版（2019）
3) H.K.E. Stadermann, E.vanden Berg, and M. J. Goedhart, Phys. Rev. Phys. Educ. Res. 15, 010130 (2019)
4) 稲村卓，「よみがえる長岡原子模型」，放射化学，2015 年 3 月（第 31 号）， pp.55-63