

高等学校化学基礎における 原子の電子配置の指導法に関する提案

—電子殻と軌道の電子数で表現した電子配置—

Proposal for Teaching Method of Electron Configurations of Atoms
in Japanese High School Basic Chemistry
—Electron Configurations Represented as Electron Number in Electron Shells and Their Orbitals—

中川 徹夫

NAKAGAWA Tetsuo

神戸女学院大学 人間科学部 環境・バイオサイエンス学科 教授
Department of Biosphere Sciences, School of Human Sciences, Kobe College
nakagawa@mail.kobe-c.ac.jp

要旨

高等学校化学基礎の電子配置と周期表の単元では、 ${}_1\text{H}$ から ${}_{20}\text{Ca}$ までの原子の電子配置が取り扱われる。従来、原子の電子配置は、ボーアモデルや電子配置表を用いて指導されてきた。しかし、これらには、いくつかの問題点がある。本論考では、原子の電子配置を指導するにあたり、前二者に加えて、電子殻と軌道（副殻、オービタル）の電子数で表現した電子配置の併用を提案した。軌道については、現行の高等学校化学基礎の教科書にも発展的な事項として記述されているので、授業での取扱いが可能である。化学基礎の電子配置と周期表の単元の第1回授業の授業計画と板書計画を作成し、電子殻と軌道の電子数で表現した電子配置の具体的な指導方法を提示した。電子殻と軌道の電子数で表現した電子配置は、ボーアモデルや電子配置表の短所を補うことができるので、高等学校化学の授業で電子配置について指導する際に、有用な手法である。

キーワード：高校化学，化学基礎，原子，電子配置，電子殻，軌道

Key words: high school chemistry, basic chemistry, atom, electron configuration, electron shell, orbital

1 はじめに

現行の高等学校学習指導要領によれば、理科の科目の一つである化学基礎の電子配置と周期表の単元で、原子の電子配置について取り扱うこととされている¹⁾。その際、原子の電子配置については、原子構造の簡単なモデルを用いて、原子番号20番までの代表的な典型元素を扱わなければならない¹⁾。これを受けて、化学基礎の教科書には、 ${}^1\text{H}$ から ${}_{20}\text{Ca}$ までの原子の電子配置が、ボーアモデル²⁾や電子配置表²⁾として掲載されている。ボーアモデルや電子配置表は、原子の電子配置を理解するのに優れた手法である。しかしこれらの手法にも、種々の問題がある。

本論考では、高等学校化学基礎で原子の電子配置を指導する際、ボーアモデルや電子配置表に加え、大学の初年次科目である化学入門で扱われる電子殻と軌道の電子数で表現した電子配置⁴⁾の併用を提案した。つぎに、電子配置と周期表の単元の第1回授業の授業計画と板書計画を作成し、電子殻と軌道の電子数で表現した電子配置の指導方法を提示し、本提案の有用性について検証した。

2 ボーアモデルと電子配置表の問題点

図1に、化学基礎の教科書に掲載されたマグネシウム原子とナトリウム原子のボーアモデルの例を示す。ボーアモデルは、原子の電子配置を視覚的に理解しやすく、中性原子から陽イオンや陰イオンが生成する際にも、電子配置の変化が分かりやすい。ただ、このモデルには、つぎのような問題点がある。

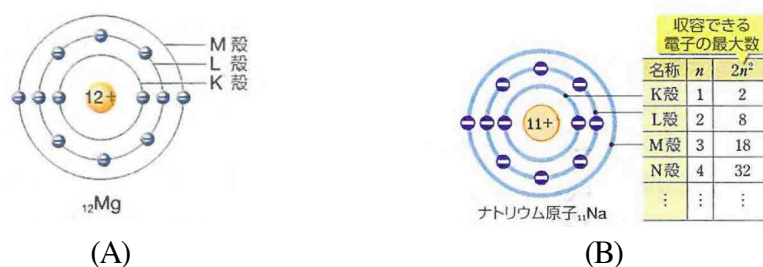


図1 ボーアモデルで表現した原子の電子配置
(A) マグネシウム原子²⁾ (B) ナトリウム原子³⁾

第一は、電子に対する誤概念を生むという問題である。同心円状に描いた各電子殻上に電子を●で記すため、電子があたかも電子殻内に固定されて存在しているという印象が強い。また、原子全体の大きさと比較して、原子核や電子が極端に大きく描かれている。理系の生徒の場合、その後高等学校では物理を、大学では量子力学や量子化学を履修するため、電子の二重性、つまり、電子が粒子と波動の性質を併せ持つことを学ぶ際、ボーアモ

デルの印象が強いと、その後の理解の妨げになる。

第二は、電子殻内の電子の描写上の問題である。s 軌道と p 軌道は、化学基礎の教科書で発展的な内容として記述されている^{2,3)}。しかし、ボーアモデルでは、両者を区別できない。また、 ${}_{21}\text{Sc}$ 以降の原子では、電子配置に 3d 軌道が関与するため、M 殻の電子数が増加し、描写が極めて困難になる。

以上のように、ボーアモデルのみで、高等学校化学基礎や化学の授業で扱う原子の電子配置を説明するには無理がある。使用できるのは、せいぜい ${}_{20}\text{Ca}$ までである。

表 1 に、化学基礎の教科書²⁾に掲載された電子配置表の例を示す。これには、各電子殻の電子数が記されているので、 ${}_{21}\text{Sc}$ 以降の原子配置についても容易に記述できる。電子殻内の s 軌道、p 軌道や d 軌道にふれる際にも、それぞれの電子数を記述すればよい。しかし、以下に記すような問題が浮上する。

表 1 ${}_{1}\text{H}$ から ${}_{20}\text{Ca}$ までの原子の電子配置²⁾ 表 2 18 族元素の原子の電子配置²⁾

元素名	原子	電子殻			
		K	L	M	N
水素	${}_{1}\text{H}$	1			
ヘリウム	${}_{2}\text{He}$	2			
リチウム	${}_{3}\text{Li}$	2	1		
ベリリウム	${}_{4}\text{Be}$	2	2		
ホウ素	${}_{5}\text{B}$	2	3		
炭素	${}_{6}\text{C}$	2	4		
窒素	${}_{7}\text{N}$	2	5		
酸素	${}_{8}\text{O}$	2	6		
フッ素	${}_{9}\text{F}$	2	7		
ネオン	${}_{10}\text{Ne}$	2	8		
ナトリウム	${}_{11}\text{Na}$	2	8	1	
マグネシウム	${}_{12}\text{Mg}$	2	8	2	
アルミニウム	${}_{13}\text{Al}$	2	8	3	
ケイ素	${}_{14}\text{Si}$	2	8	4	
リン	${}_{15}\text{P}$	2	8	5	
硫黄	${}_{16}\text{S}$	2	8	6	
塩素	${}_{17}\text{Cl}$	2	8	7	
アルゴン	${}_{18}\text{Ar}$	2	8	8	
カリウム	${}_{19}\text{K}$	2	8	8	1
カルシウム	${}_{20}\text{Ca}$	2	8	8	2

元素	電子殻					
	K	L	M	N	O	P
${}_{2}\text{He}$	2					
${}_{10}\text{Ne}$	2	8				
${}_{18}\text{Ar}$	2	8	8			
${}_{36}\text{Kr}$	2	8	18	8		
${}_{54}\text{Xe}$	2	8	18	18	8	
${}_{86}\text{Rn}$	2	8	18	32	18	8

中の数字は最外殻電子の数を表す。

第一は、単独の原子の電子配置の描写上の問題である。ボーアモデルとは異なり、単独の原子の電子配置を表記する場合に、表から電子配置の一部を抽出しなければならず、面倒である。

第二は、電子配置表の作成上の問題である。表 1 のように、原子番号の順に ${}_{1}\text{H}$ から ${}_{20}\text{Ca}$ まで、あるいは表 2 のように、18 族元素を原子番号の小さい順に ${}_{2}\text{He}$ から ${}_{86}\text{Rn}$ まで記すにせよ、その都度表を作成しなければならない。授業時に生徒が電子配置表をノートに記す際、時間を要することが予想される。

このように、ボーアモデルや電子配置表には、実際の授業では扱いにくい箇所がある。

3 電子殻と軌道の電子数で表した電子配置

前節では、高等学校化学基礎に掲載されているボーアモデルや電子配置表の特徴と問題点について指摘した。とりわけ、これらの問題点を解決するために、ボーアモデルや電子配置表に加え、電子殻と軌道の電子数で表現した電子配置⁴⁾の併用を提案したい。

軌道は、大学の初年次科目である化学入門で扱われる⁴⁾。しかし、最近では高等学校化学基礎の教科書にも、発展的な内容として記述されている^{2,3)}。そこで、化学に興味・関心の深い理系クラスの生徒に対しては、電子殻中に存在する軌道の電子数で原子の電子配置を表現する方法を指導できる。その具体例を、下記に示す。

・例1 Li原子の場合

電子は K 殻に 2 個, L 殻に 1 個 収容される。Li 原子の場合、K 殻は 1s 軌道から、L 殻は 2s 軌道から構成されており、1s, 2s 軌道の順にエネルギー順位が増大する。電子はエネルギー順位の低い順に入る。これより、電子は 1s 軌道に 2 個, 2s 軌道に 1 個 収容される。下線部の電子配置を電子殻と軌道の電子数で表現すると、それぞれ K^2L^1 [または $(K)^2(L)^1$]、 $1s^22s^1$ [または $(1s)^2(2s)^1$] となる。電子殻や軌道の右上に書かれた小さな数字は、電子数を意味する。

・例2 Ti原子の場合

電子は K 殻に 2 個, L 殻に 8 個, M 殻に 10 個, N 殻に 2 個 収容される。Ti 原子の場合、K 殻は 1s 軌道から、L 殻は 2s 軌道と 2p 軌道から、M 殻は 3s 軌道、3p 軌道と 3d 軌道から、N 殻は 4s 軌道から構成されており、1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d 軌道の順にエネルギー順位が増大するため、電子は 1s 軌道に 2 個, 2s 軌道に 2 個, 2p 軌道に 6 個, 3s 軌道に 2 個, 3p 軌道に 6 個, 3d 軌道に 2 個, 4s 軌道に 2 個 収容される。下線部の電子配置を電子殻と軌道の電子数で表現すると、それぞれ $K^2L^8M^{10}N^2$ [または $(K)^2(L)^8(M)^{10}(N)^2$]、 $1s^22s^22p^63s^23p^63d^24s^2$ [または $(1s)^2(2s)^2(2p)^6(3s)^2(3p)^6(3d)^2(4s)^2$] となる。

以下、同様の手法で表現した ${}_1\text{H}$ から ${}_{38}\text{Sr}$ までの原子の電子配置を表 3 に示す。高等学校化学基礎で扱う原子の電子配置は、 ${}_1\text{H}$ から ${}_{20}\text{Ca}$ までのいわゆる典型元素のみである。今回、発展的な内容を学習する際、遷移元素の原子の電子配置が必要になるのを考慮して、 ${}_{38}\text{Sr}$ まで拡張し、最外殻電子数と価電子数も示した。

電子殻と軌道の電子数で表現した電子配置は、ボーアモデルのように電子を●で描く必要も電子配置表のような表を作成する必要もない。電子殻とそれに含まれる軌道の電子数が分れば、記号と数字のみで容易かつ迅速に表現できるので、極めて有用である。

なお、化学基礎の授業で、3d 軌道が関与する遷移元素の電子配置の取扱いが困難な場合には、続く化学の授業で継続して指導するか、あるいは典型元素である ${}_1\text{H}$ から ${}_{20}\text{Ca}$ までの原子の電子配置に限定して指導しても差し支えない。

表3 原子の電子配置 (1H から 38Sr まで)

原子	電子配置 (電子殻の 電子数で表現)	電子配置 (軌道の電子数で表現)	最外殻 電子数	価電子数
1H	K ¹	1s ¹	1	1
2He	K ²	1s ²	2	0
3Li	K ² L ¹	1s ² 2s ¹	1	1
4Be	K ² L ²	1s ² 2s ²	2	2
5B	K ² L ³	1s ² 2s ² 2p ¹	3	3
6C	K ² L ⁴	1s ² 2s ² 2p ²	4	4
7N	K ² L ⁵	1s ² 2s ² 2p ³	5	5
8O	K ² L ⁶	1s ² 2s ² 2p ⁴	6	6
9F	K ² L ⁷	1s ² 2s ² 2p ⁵	7	7
10Ne	K ² L ⁸	1s ² 2s ² 2p ⁶	8	0
11Na	K ² L ⁸ M ¹	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ¹	1	1
12Mg	K ² L ⁸ M ²	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ²	2	2
13Al	K ² L ⁸ M ³	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ¹	3	3
14Si	K ² L ⁸ M ⁴	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ²	4	4
15P	K ² L ⁸ M ⁵	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ³	5	5
16S	K ² L ⁸ M ⁶	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁴	6	6
17Cl	K ² L ⁸ M ⁷	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁵	7	7
18Ar	K ² L ⁸ M ⁸	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶	8	0
19K	K ² L ⁸ M ⁸ N ¹	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 4s ¹	1	1
20Ca	K ² L ⁸ M ⁸ N ²	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 4s ²	2	2
21Sc	K ² L ⁸ M ⁹ N ²	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹ 4s ²	2	2
22Ti	K ² L ⁸ M ¹⁰ N ²	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ² 4s ²	2	2
23V	K ² L ⁸ M ¹¹ N ²	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ³ 4s ²	2	2
24Cr	K ² L ⁸ M ¹³ N ¹	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ⁵ 4s ¹	1	1
25Mn	K ² L ⁸ M ¹³ N ²	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ⁵ 4s ²	2	2
26Fe	K ² L ⁸ M ¹⁴ N ²	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ⁶ 4s ²	2	2
27Co	K ² L ⁸ M ¹⁵ N ²	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ⁷ 4s ²	2	2
28Ni	K ² L ⁸ M ¹⁶ N ²	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ⁸ 4s ²	2	2
29Cu	K ² L ⁸ M ¹⁸ N ¹	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰ 4s ¹	1	1
30Zn	K ² L ⁸ M ¹⁸ N ²	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰ 4s ²	2	2
31Ga	K ² L ⁸ M ¹⁸ N ³	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰ 4s ² 4p ¹	3	3
32Ge	K ² L ⁸ M ¹⁸ N ⁴	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰ 4s ² 4p ²	4	4
33As	K ² L ⁸ M ¹⁸ N ⁵	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰ 4s ² 4p ³	5	5
34Se	K ² L ⁸ M ¹⁸ N ⁶	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁴	6	6
35Br	K ² L ⁸ M ¹⁸ N ⁷	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁵	7	7
36Kr	K ² L ⁸ M ¹⁸ N ⁸	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶	8	0
37Rb	K ² L ⁸ M ¹⁸ N ⁸ O ¹	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶ 5s ¹	1	1
38Sr	K ² L ⁸ M ¹⁸ N ⁸ O ²	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶ 5s ²	2	2

4 授業計画

表4に、高等学校化学基礎の原子の電子配置（初回1校時分，50分間）の授業計画を提示する。ここで、ゴシック体（太字）の箇所は、発展的な内容を意味する。

表4 授業計画

段階	時間	学習内容	学習活動	留意点
導入	5分	原子の構造	原子の構造（原子核：陽子・中性子と電子）を復習する。	前時の内容の理解・定着度を確認する。
展開1	20分	電子殻 K殻, L殻, M殻, N殻, 最大収容電子数 軌道（副殻, オービタル） s軌道, p軌道, d軌道, 最大収容電子数	電子殻の種類と最大収容電子数について理解する。 軌道の種類と最大収容電子数について理解する。	電子殻の最大収容電子数 $2n^2$ (n は主量子数) を, 類推させる。
展開2	20分	ボーアモデル, 電子配置表, 電子殻と軌道の電子数で表現した電子配置 , 代表的な原子 (${}_1\text{H}$, ${}_5\text{B}$, ${}_{12}\text{Mg}$). 電子殻と軌道の電子数で表現した電子配置, ${}_1\text{H}$ から ${}_{20}\text{Ca}$ までのすべての原子.	${}_1\text{H}$ から ${}_{20}\text{Ca}$ までの代表的な原子 (${}_1\text{H}$, ${}_5\text{B}$, ${}_{12}\text{Mg}$) の電子配置を, ボーアモデルおよび 電子殻と軌道の電子数 で表現する。 ${}_1\text{H}$ から ${}_{20}\text{Ca}$ までの全原子の電子配置を, 電子殻および軌道の電子数 で表現できる。 ${}_{19}\text{K}$ と ${}_{20}\text{Ca}$ の電子配置の変則的な理由を説明できる。	代表的な原子 (${}_1\text{H}$, ${}_5\text{B}$, ${}_{12}\text{Mg}$) の電子配置をボーアモデルと 電子殻と軌道の電子数 で表現させる。 電子配置のプリント（表3）を配布し, 自己採点させる。 ${}_{19}\text{K}$ と ${}_{20}\text{Ca}$ の電子配置の変則的な理由について, 生徒間で討議させる。
まとめ	5分	原子の電子配置の表現（ボーアモデル, 電子配置表, 電子殻または軌道の電子数 ）	原子の電子配置を, 電子殻と軌道の電子数 で正しく表現できる。	${}_1\text{H}$ から ${}_{20}\text{Ca}$ までの 電子殻と軌道の電子数 で表現した電子配置を, 自宅でノートに記させる。

なお、授業計画を作成には、理科教育法の標準的なテキスト⁹⁾を参考にした。これには、中学校理科や高等学校理科に関する学習指導案（授業計画を含む）の具体的な事例が示されている。

5 板書計画

以下に、原子の電子配置（初回1校時分、50分間）に関する板書計画を記す。ゴシック体の箇所は、黄色チョークを用いて板書する。

A. 原子の電子配置

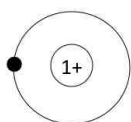
電子殻と軌道（副殻, オービタル）

- **電子殻**：電子が存在できる層。
K 殻, L 殻, M 殻, N 殻, O 殻, …
1, 2, 3, 4, 5, …, n : 主量子数
2個, 8個, 18個, 32個, 50個, …, $2n^2$ 個 : 最大収容電子数
- **軌道（副殻, オービタル）**：電子殻の中の電子が存在できる領域。1個の軌道に電子が最大2個まで収容可能
s 軌道 (1個), p 軌道 (3個), d 軌道 (5個), f 軌道 (7個), …
2個, 6個, 10個, 14個, … : 最大収容電子数
- 電子殻に含まれる軌道
K 殻 : 1s 軌道, L 殻 : 2s 軌道, 2p 軌道, M 殻 : 3s 軌道, 3p 軌道, 3d 軌道,
N 殻 : 4s 軌道, 4p 軌道, 4d 軌道, 4f 軌道, …

電子配置

- **電子配置**：各電子殻または各軌道への電子の配列のしかた。
- 電子が収容される順序
電子殻 : K → L → M → N → …
軌道 : 1s → 2s → 2p → 3s → 3p → 4s → 3d → 4p → 5s → …

例 1 : ${}_1\text{H}$ K 殻に 1 個
(1s 軌道に 1 個)

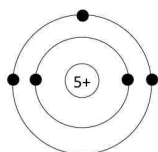


ボーアモデル

電子配置 (電子殻の電子数) : K^1 [または $(\text{K})^1$]

電子配置 (軌道の電子数) : 1s^1 [または $(1\text{s})^1$]

例2: ${}_5\text{B}$ K殻に2個, L殻に3個
(1s軌道に2個, 2s軌道に2個, 2p軌道に1個)

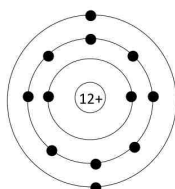


ボーアモデル

電子配置 (電子殻の電子数) : $\text{K}^2 \text{L}^3$ [または $(\text{K})^2(\text{L})^3$]

電子配置 (軌道の電子数) : $1s^2 2s^2 2p^1$ [または $(1s)^2(2s)^2(2p)^1$]

例3: ${}_{12}\text{Mg}$ K殻に2個, L殻に8個, M殻に2個
(1s軌道に2個, 2s軌道に2個, 2p軌道に6個, 3s軌道に2個)



ボーアモデル

電子配置 (電子殻の電子数) : $\text{K}^2 \text{L}^8 \text{M}^2$ [または $(\text{K})^2(\text{L})^8(\text{M})^2$]

電子配置 (軌道の電子数) : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$ [または $(1s)^2(2s)^2(2p)^6(3s)^2$]

(問題) ${}_1\text{H}$ から ${}_{20}\text{Ca}$ までの原子の電子配置を, 電子殻および軌道の電子数で表現しなさい。(自宅学習, 正解: 表3の電子配置を参照)

6 おわりに

高校学校化学基礎で原子の電子配置を指導する際, ボーアモデルや電子配置表に加え, 電子殻や軌道の電子数で表現した電子配置の併用を提案した. 続いて, 授業実施時に不可欠な学習指導案と板書計画を作成し, 具体的な指導方法を提示した.

電子殻や軌道の電子数で表現した電子配置は, 電子殻の電子数以外に軌道の電子数も容易に表現できるうえ, ${}_{21}\text{Sc}$ 以降の遷移元素の原子の電子配置についても適用可能である. 電子殻や軌道の右肩に含まれる電子数を記すだけなので, 単純明瞭であり, 電子配置に関する理解を深められる. このように, 電子殻と軌道の電子数で表現した電子配置は, ボーアモデルや電子配置表の短所を補うことができる.

以上のように, 電子殻や軌道の電子数で表現した電子配置には, 種々の有用性が認められた. 本論考で提案した内容が, 今後多くの高等学校の化学基礎の授業時に活用されることを期待したい.

文献と註

- 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, pp.53-54, 2009年.
- 2) 竹内敬人 他, 「改訂 化学基礎」, 2・東書・化基 313, 東京書籍, pp.46-47, 2017年. 資料5として $_{106}\text{Sg}$ までのすべての原子の電子配置が記されている (p. ⑤).
- 3) 辰巳敬 他, 「改訂版 化学基礎」, 104・数研・化基 319, 数研出版, pp. 43-44, 2017年. 資料編に $_{106}\text{Sg}$ までのすべての原子の電子配置が記されている (p. 224).
- 4) 中川徹夫, 「化学の基礎 元素記号からおさらいする化学の基礎」, 化学同人, pp.15-19, 2010年.
- 5) 左巻健男, 内村浩編著, 「授業に活かす! 理科教育法 中学・高等学校編」, 東京書籍, pp.91-112, 2009年.