

## 1. はじめに

大学のカリキュラムの科目体系は科目区分が階層的な構造をしており、卒業に必要な単位は下位の科目区分の合計が上位の科目区分に算入されるようになっている。大学の学部学科によって、科目自体は異なるものの、このような階層的な構造は共通しており、卒業に必要な単位のチェックをする際の基本的なルールや構造は同じである。そのため、卒業単位チェックシステムの汎用的なプログラムを開発することは困難な課題ではなく、そのようなシステムが利用できれば、大学の学務においても学生側にとっても有益である。

そこで、Web で利用できる卒業単位チェックの汎用的なシステムの開発を行ったが<sup>1)</sup>、汎用性をもたせるために、いくつかの工夫が必要であった。とくに階層的な構造での単位数の計算において、再帰的アルゴリズムの導入が必要であった。本稿では、科目区分ごとに単位が充足しているのかどうかの判定を行うプログラムにおいて、実装した再帰的アルゴリズムについて報告を行う。

## 2. 問題

### 2.1 階層数の違い

卒業単位チェックシステム<sup>1)</sup>では、各大学のカリキュラムに合わせて、どの科目区分がどの科目区分の合計に算入されるのかを表した科目表を作成するだけで、自動的にその大学に合った単位チェックプログラムが作成される。科目表の作成において、階層の数を意識する必要はない。

プログラムのアルゴリズムとして、階層の数を反復アルゴリズムで実装すると、階層の数が大学によって異なることが問題

となり、階層の数を意識したプログラムの設計が必要となってしまう。そこで、階層数を特段意識する必要のない再帰的なアルゴリズムによって実装することが必要となる。

### 2.2 単位の合計数が一致しないケース

一般に、ある科目区分の必要単位数は、その下位にある複数の科目区分の必要単位数の合計となる。ただし、場合によっては、科目区分ごとに必要な単位の最低数が定められているだけで、それらの必要最低数を合計しても、上位の必要単位数に満たないことが多い。各科目区分では必要最低数だけが定めてあり、上位の合計数を満たすには、各科目区分での必要単位数を満たした上に、さらに合計数を満たすように、どこかの科目区分から単位を取得しなければならない。

各科目区分での必要単位数の制約を低くすることによって、学生は自分が取りたい科目区分での科目を多く履修し、それらを卒業単位に反映できるため、学生の科目履修の自由度を高めたカリキュラム体系になっている。このようなカリキュラムの場合、学生によって、科目区分の取得単位数が異なるため、卒業に必要な単位の計算誤りが生じやすくなっている。そのため、このようなカリキュラム体系の場合、卒業単位チェックシステム導入の有用性が高い。

科目群	算入科目	必要単位	認定単位	修得単位
1)合計	2+6(12)+10	80	×	50
2)教養	3~5	20	×	16
	3)人文	4	△	10
	4)社会	4	△	4
	5)自然	4	×	2
6)語学	7~9	12	○	12
	7)英語	8	×	6
	8)独語	0	○	6
	9)仏語	0	○	0
10)専門	11+12	30	×	22
	11)基礎	10	△	12
	12)実践	0	×	10

図1 卒業単位チェックシステム<sup>1)</sup>の出力例

本稿では、以下のような用語の使い方をする。必要最低単位数は各科目区分で最低履修しなければならない単位数とする。また、開講科目数などによって認定される単位数の上限が決まっている場合、それを最大認定単位とよぶ。そして、ある科目区分の必要最低単位数がそれよりも下位の科目区分の必要最低単位数の合計と一致する場合、合計一致型とよび、そうでない場合を合計不一致型とよぶ。

合計一致型の場合、当該の科目区分で定められた単位を超えて取得しても、超過分は合計に算入されない。合計一致型でなくても、合計に算入される単位数を限定している場合も、超過分が合計に算入されないため、合計一致型と等価となる。このような場合を擬似合計一致型とよぶこととする。ここでは、合計の算入の上限を算入上限とよぶ。

合計一致型の場合、科目区分ごとに単位の充足判定を行えばよいため、判定には比較的単純なアルゴリズムで実現できる。しかし、それが許されるのは完全に合計一致型の場合だけであり、合計一致型と合計不一致型が混在している場合、合計不一致型として考えて処理しなければならない。合計不一致型の場合、当該の科目区分での取得単位数だけでは単位の充足判定ができず、他の科目区分での取得単位数によって判定結果が変わってしまう。そのため、階層的な科目体系をバックトラックして、他の科目区分での単位の計算を行う必要があり、再帰的プログラムの実装が必要となる。

### 3. 単位充足判定の概要

単位充足判定の説明のために架空の科目体系を用いて説明する(表1)。「教養」、「語学」、「専門」の3つの科目区分に分かれており、それぞれ必要最低単位数は「教養」20単位、「語学」12単位、「専門」30単位となっているが、合計では80単位必要である。これは合計不一致型である。ただし「語学」の単位は12単位までしか合計には算入できないようになっている。そのため「語学」に関しては擬似合計一致型となっている。下位の科目区分をみると、「教養」は3つの分野(人文、社会、自然)に分かれており、それぞれ最低必要単位は4単位で、それらを合計しても「教養」で必要な20単位にはならず、合計不一致型である。「語学」の場合、「英語」は8

表1 本稿で例として取り上げる架空の科目体系

科目区分	必要最低単位数	最大認定単位
教養	20	
人文	4	40
社会	4	40
自然	4	40
語学*	12	12
英語	8	8
独語	0	6
仏語	0	6
専門	30	
基礎	10	16
実践	0	
合計	80	

\*12単位までしか合計には参入できない

単位と定められているが、「独語」と「仏語」では最低必要単位は定められていない。「英語」は8単位までしか取れないため、「独語」か「仏語」のいずれかで4単位取得の必要がある。あるいは「独語」2単位、「仏語」2単位でもよい。そのため、「語学」の中では合計不一致型となっている。「専門」は「基礎」10単位以上であるが「実践」では必要最低単位数は定められておらず、合計不一致型となっている。

#### 3.1 単位チェックの3段階判定

単位チェックでは、卒業に必要な単位を以下の3段階で判定することとした。

- 当該の科目区分において単位充足し、かつ、合計単位数を満たすために取得する必要がない。(○; 緑判定)
- 当該の科目区分において単位が充足していないか、全体の合計単位数を満たすために必ず取得の必要がある。(×; 赤判定)
- 当該の科目区分においては単位が充足しているが、全体の合計単位数を満たしていない。ただし、他の科目区分によっても合計単位数を満たすことが可能であるため、当該の科目区分で必ずしも取得する必要はない。(△; 黄判定)

合計一致型の場合、他の科目区分での単位取得状況とは関係なく単位の充足判定ができるため、当該の科目区分で単位が充足しているかどうかの判定になる。そのため黄判定が生じることなく、あらかじめ定められた最低必要単位数との比較で赤判定か緑判定かが決まってしまう。

主として問題になるのは、合計不一致型の場合、緑判定か黄判定のいずれになるかの判定である。本システムを利用した判定結果例は図1に示した(実際は色表示を行っている)。判定には、他の科目区分

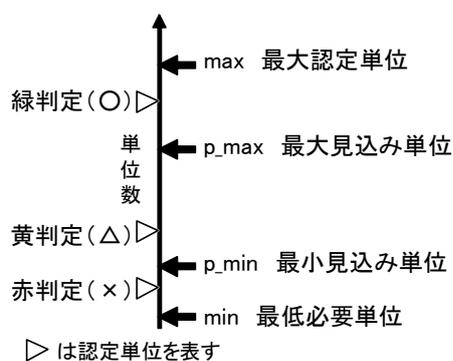


図2 2つの動的変数と単位充足判定ルールの関係。認定単位数によって判定が異なる。

の単位取得状況によって、どこまで単位を取る必要があるのかの情報が必要となる。

### 3.2 動的変数の導入

そこで、各科目区分ごとの単位の取得状況によって動的に変化する見込み単位数の上限と下限の値を算出することによって判定ができるようにした。

- ・最大見込み単位数  $p_{max}$

合計不一致型の場合、合計単位数を満たすためには、最低必要単位数以上の単位を取得しなければならない。その際、合計に算入される他の科目区分の単位取得状況によって変化する。他の科目区分で多くの単位を取得していれば、少なくともよいが、他の科目区分での取得単位が少ない場合は多く取得しなければならない。その見込み数を表すのが最大見込み単位数である。取得単位数がこの値以上でなければ合計の単位数は充足しないことになる。

- ・最小見込み単位数  $p_{min}$

当該の科目区分で定められている最低必要単位数をまず満たさなければならない。したがって、最小見込み単位数は最低必要単位数となる。ただし、すでに最低必要単位数を超えている場合、見込みとしてはその取得単位を下回ることはいないため、認定されている単位数が最小見込み単位数となる。

さらに、合計不一致型の場合、最大認定単位の設定、算入上限などがあると、特定の科目区分で最低必要単位数以上の単位を取得しなければならない場合がある。あらかじめその点を考慮して必要最低単位数を設けてあげればよいが、合計不一致型の場合、必要最低単位数を指定していない(0と見なす)場合があり、その際は、最小見込み単位数を算出する必要がある。

最大認定単位(max)、最低必要単位数(min)、最大

見込み単位数( $p_{max}$ )、最小見込み単位数( $p_{min}$ )の関係を図2に表した。合計一致型の場合、これら4つの変数は同じになるが、合計不一致型の場合、見込み数は動的に変化し、maxとminの間で変化することになる。

### 3.3 単位の充足判定のルール

2つの動的変数の導入によって、単位判定は以下のルールに集約される(図2)。

- ・緑判定 最大見込み単位数以上の場合
- ・赤判定 最小見込み単位数に満たない場合
- ・黄判定 最大見込み単位数未満で最小見込み単位数以上の場合。合計一致型の場合存在しない。

上記のように2つの動的変数と実際に取得した認定単位の比較を行うことによって、判定を行うことができる。

## 4. 動的変数の算出アルゴリズム

これまで述べてきたように、単位充足判定においては、動的変数の2つの値を算出することによって判定が可能となる。最大の問題は動的変数をどのように算出するかである。それは以下の3つのフェーズで行われる。

### 4.1 第1フェーズ $p_{min}$ と $p_{max}$ の静的設定

$p_{min}$ と $p_{max}$ の値を、他の科目区分を考慮せずに仮設定を行う。設定はいずれの値も、認定された単位と最低必要単位の大きいほうとする。 $p_{min}$ は、最低でも最低必要単位をとることになるので、最低必要単位以上になる。ただし、先に述べたように、すでに最低必要単位以上の単位を取得していれば、見込みとしては、それを下回ることはいないため、すでに取得した単位を $p_{min}$ の値として設定する。

一方、 $p_{max}$ は見込みとして最低でも最低必要単位を取るが、すでにそれを越えた単位を取っている場合、見込みとしてはその値を下回ることがないため、 $p_{min}$ と同様すでに取得した値を設定する。

図3には、次の第2フェーズでの更新前の第1フェーズで設定した2つの動的変数の値を示している。

### 4.2 第2フェーズ 他の科目区分での最小取得見込みを考慮した $p_{max}$ の更新

合計不一致型の場合、当該の科目区分での最低必要単位を満たすだけでは、最終要件を満たさず、それ以上に取得しなければならない。ただし、他の

科目区分で単位を多く取ってれば、その必要はない。そのため、他の科目区分での単位取得状況に応じて、当該の科目区分で最大何単位まで取ればよいのかを算出する。

図3に具体的な算出の流れを示した。たとえば、「人文」の場合10単位を取得しており、必要単位は満たしている。ところが、上位区分の「教養」20単位は不足しており、さらに、全体の合計単位は50単位しか取れておらず、80単位まで30単位残している。「人文」でもさらに単位を取得すれば、この30単位残を減らすことができる。しかし、他の科目区分で必要単位を満たしていないところがあり、それらの科目区分では必ず単位増になるため、30単位すべてを満たす必要はない。他の科目区分で最小で何単位満たすことができるかを算出すると、「自然」で2単位、「英語」で2単位、「専門」で8単位不足している。ただし、「英語」の場合、「語学」での算入上限があり、ここでの2単位は合計を満たすのには使えない。したがって、「自然」の2単位と「専門」の8単位分が減じられ、残り20単位となる。仮に、この20単位をすべて「人文」でまかなうとすると、現在の認定10単位に加算して最大で30単位を見込め、「人文」のp\_maxは30単位となる。

以上の計算処理を再帰的なアルゴリズムとして実装したのが、図4、図5である。この計算処理では、まず不足単位があっても少なくとも何単位増えるのかを科目区分ごとに算出する必要がある。それが図4のアルゴリズムである。まず当該科目区分での増を算出する(①)。そして、当該科目区分の下位科目区分での増の合計を再帰的に最下層までたどって合計を行う(②)。下位単位増合計と当該科目増の大きい値がその当該科目区分での増分になる(③)。たとえば、「専門」において当該科目の不足分は8単位である。その下位科目の「基礎」

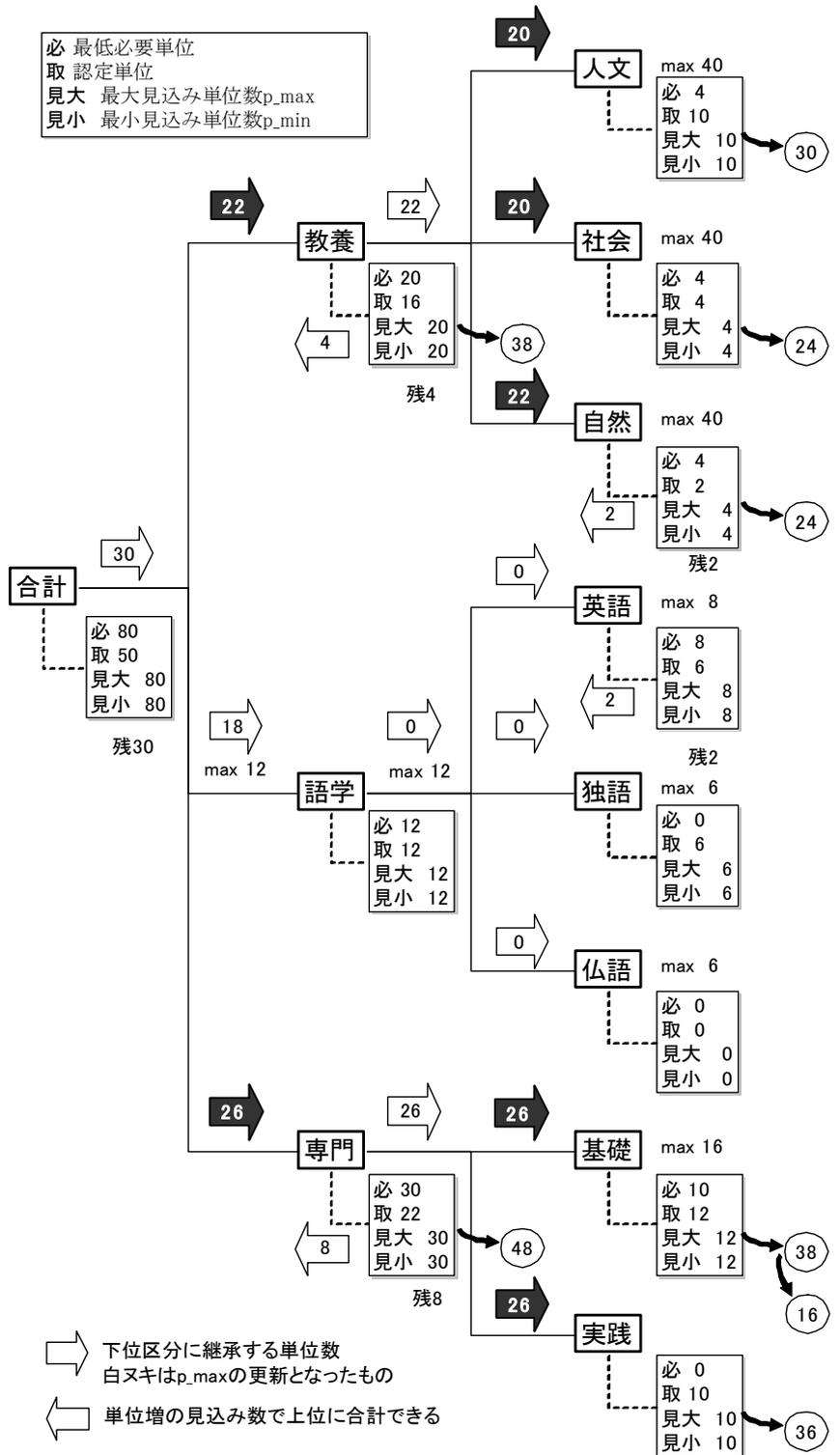


図3 第2フェーズの最大見込み単位数(p\_max)更新のための計算の流れ

と「実践」での単位増は0でその合計も0である。したがって、「専門」での単位増は8単位だけとなる。次に、p\_maxの更新を行うには、こうやって算出される単位増の値を使って、最大何単位取得が見込めるかを階層の上から順番に再帰的に階層をたどっていく。そのアルゴリズムが図5である。このアルゴリズムでは同階層の科目区分に関して同時に処理を行う。まず、上位から残単位を継承し、同時に上

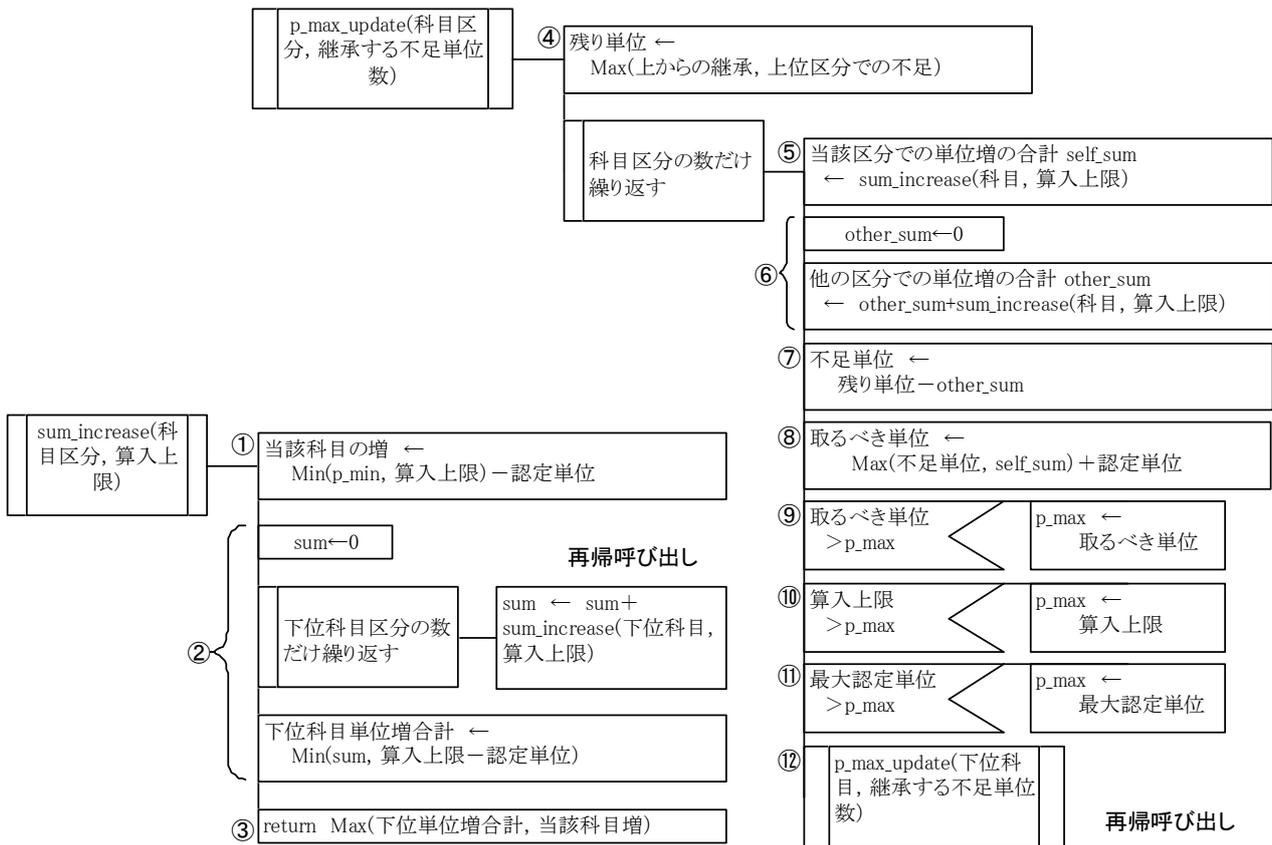


図4 少なくとも何単位増えるのかを合計するための再帰的アルゴリズム

図5 最大見込み単位数 (p\_max) 更新のための再帰的アルゴリズム

の科目区分での不足分と比較し、大きいほうの値が残り単位としてまかなう必要がある (④)。そして、同階層の各科目区分でどれだけの単位増となるかを当該の科目区分 (⑤) とそれ以外の科目区分 (⑥) で別々に算出する。ここで、先ほどの図4のアルゴリズムを利用する。他の科目区分の単位増は、残り単位を減じるのに使え、その残り分が不足単位となる (⑦)。そして、当該科目区分での単位増は取るべき単位として考えなければならない。上から継承してきた不足単位と当該科目区分での単位増の大きいほうの値が取るべき単位となる (⑧)。その値にすでに認定された単位を加えたものが、最大見込み単位数  $p_{max}$  となる (⑧, ⑨)。ただし、算入上限 (⑩) や最大認定単位 (⑪) を超えないようにする必要がある。そして、さらに、下位の科目区分でも同様の処理を行っていくために再帰的に行う (⑫)。

具体例を用いて説明を行う (図3)。最上位の「合計」では、上からの継承はないが、「合計」では30単位不足しているため、残り単位30となる。その下位科目の「教養」、「語学」、「専門」でそれぞれの単位増は「教養」4単位と「専門」8単位である。「語

学」では英語」の2単位があるが、算入上限の12単位を超えるので単位増にカウントされない。ここで、「専門」に着目すると、当該科目区分の単位増合計は8単位、他の科目区分の単位増合計は4単位となる。残り単位30単位から他の科目区分の単位増合計4単位を減じると26単位となる。この値と当該科目区分単位増の8単位を比較すると、26単位が大きいので、この値とすでに認定されている22単位を加算した値48単位が「専門」における  $p_{min}$  の値となる。以下、この残り26単位を下に継承し、同様の処理を行って、「基礎」や「実践」の  $p_{min}$  の値も更新される (図3)。

#### 4.3 第3フェーズ 他の科目区分での最大取得見込みを考慮した $p_{min}$ の更新

第2フェーズでは  $p_{max}$  の更新を行ったが、第3フェーズでは、 $p_{min}$  の更新を行う。第2フェーズでは、他の科目区分での単位の取得可能性の最低を考慮して当該の科目区分で最大の見込み単位数を算出したが、第3フェーズでは、他の科目区分での単位の取得が最大の可能性を考慮することになる。他の科目区分で単位を最大限取得しても、まだ足りない

可能性があった場合、足りない単位分は当該の科目区分で取得しなければならない。その単位数がどの程度であるのかを計算して、当該科目区分での最小見込み単位数  $p_{min}$  を更新する。

アルゴリズムは第2フェーズの場合とほとんど同じで、単位増の算出の図4のアルゴリズムでは、当該科目の増を  $p_{min}$  から減じていたものを  $p_{max}$  から減じることに変更するだけである

(①).  $p_{max}$  の更新の図5のプログラムでは当該科目区分の算出(⑤)が無くなり、 $self\_sum$  (⑤, ⑧)が0となるだけである。

図6では具体例での計算の流れを示したが、実際に  $p_{min}$  の更新されるのは「実践」の科目のみである。「実践」の場合上からの継承での残り単位が8単位であるのに対して、同階層の他の科目区分の「基礎」からの単位増が最大で4単位でしかないため、差し引き4単位が残ってしまう。この値を認定単位10単位に加えた14単位が  $p_{min}$  の更新の値となる。

### 5. 考察

2つの動的変数を導入し、その算出を再帰的アルゴリズムによって実装できた。本プログラムの実現によって3段階の単位充足判定が可能となり、合計不一致型の体系であっても、どの科目区分でさらに単位取得が必要であるのかが簡単にわかるようになった。

ただし、他の科目区分に単位を流用するプログラムが十分に完成しておらず、今後さらに検討をする必要がある。また、現在のプログラムでは、各科目区分ごとに、他の科目区分で何単位取得する可能性があるのかを計算しており、一度算出した値を再度計算し直す形になっており、無駄な計算を無くすような工夫も必要である。

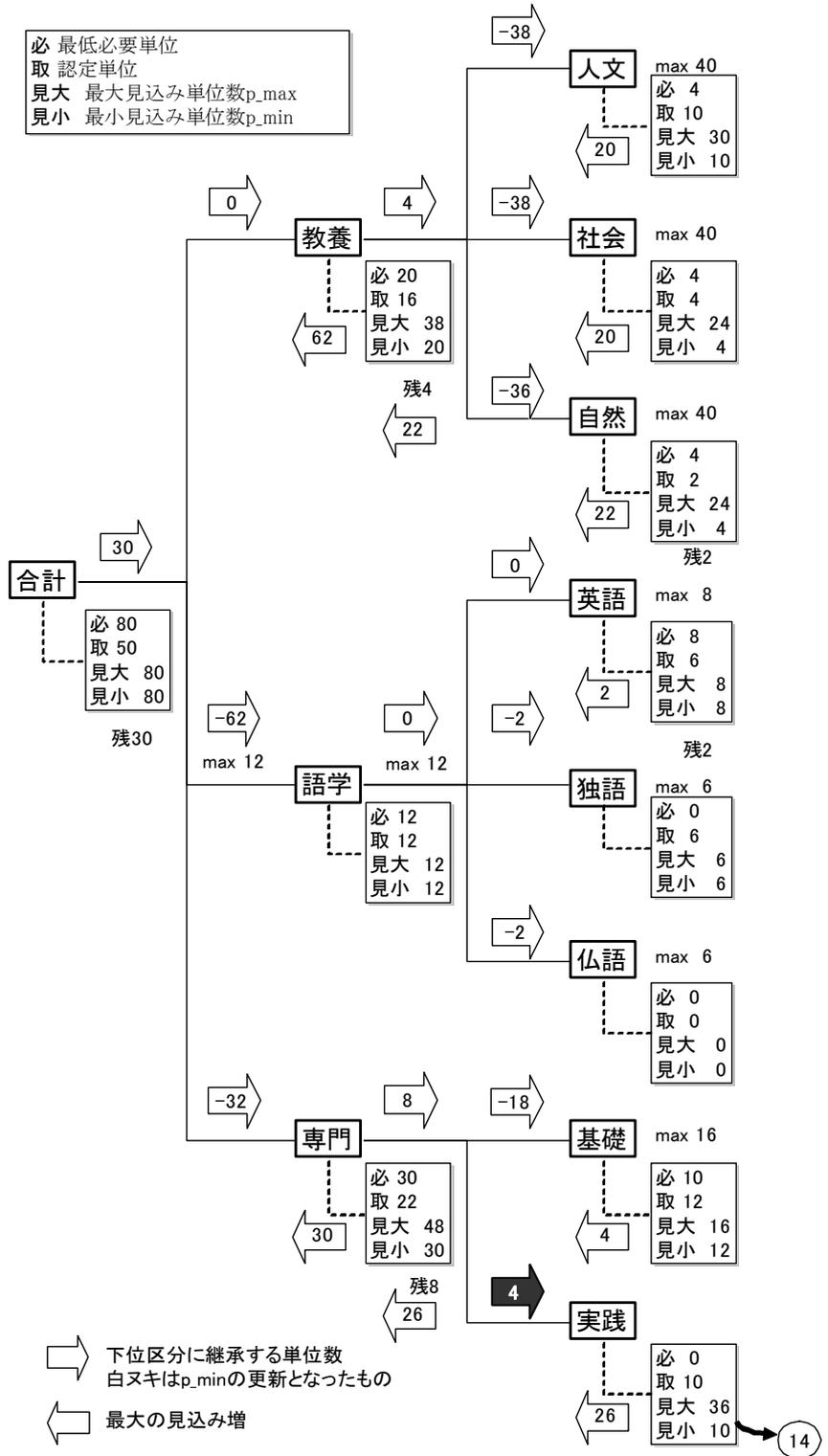


図6 第3フェーズの最小見込み単位数 ( $p_{min}$ ) 更新のための計算の流れ

### 参考文献

- 1) 松尾太加志: 汎用的な卒業単位チェックシステム, 教育システム情報学会第34回全国大会講演論文集, in press, 2009.