東京学芸大学紀要　自然科学系　59　pp. 43～48, 2007

小学校理科に新しい形で遺伝子に関わる内容を導入する

――その理念と方策――

真　山　茂　樹・中　西　　史

広域自然科学講座*

（2007年5月25日受理）

MAYAMA, S. and NAKANISHI, F.: Introduction of genetic fundamental in primary school as a part of the science curriculum by using a novel approach. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Natur. Sci., 59: 43–48 (2007)　ISSN 1880–4330

Abstract

One of the contemporary issues faced by highly developed societies is promotion of knowledge regarding the genetics. Hence, science education that includes information on the gene is crucial even in primary and junior high schools. Currently, in primary, junior high and high school curricula, the focus on the genes is in the order of the organism, cell, nucleus, chromosome, and DNA. In other words, the focus of school education is arranged so that it flows seamlessly from macro to nano levels, and high school students are exposed to the subject of genetics. However, there is now a social requirement to introduce generics to younger students of primary and junior high schools. One method would be to change the order of the learning contents in the present curriculum; however, this is not practical under the curriculum guidelines prescribed by the current ministry. Further, including any conceptual studies on the gene is not suited for younger children in early developmental stage. Therefore, a novel approach to introducing genetics is necessary for those who have not had readiness for genetics learning.

In this study, we first clarified the characteristics and the issues of the current school curriculum prescribed for the primary and the junior high schools. Next, we suggested a part of teaching program with genetic concepts in animal and plant studies. We have also referred the use of the terms, which can be accepted by the primary school students. Moreover, the usefulness of three-dimensional photographs in the science education has been stressed. Finally, the introduction regarding the novel approach has been discussed.

(in Japanese)

Key words: gene, genetic fundamental, primary school, science education

Department of Biology, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukui-kita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

1．はじめに

遺伝子に関わる新しい教科内容を小学校および中学校理科の授業で展開することは，遺伝子操作を中心とするバイオテクノロジー時代の社会の要請するところであり，その内容を国民的リテラシーとして各自が子どもの頃から正しく理解し，自らの考えを所持できるよう，教育は新たなる方策でカリキュラムを開発することが必要である。近年実施された小学5年，6年生に対する大規模なアンケート調査（n=1276）では，その約9割がDNA，遺

＊　東京学芸大学（184-8501　小金井市貫井北町 4-1-1）

伝子組換え，クローン生物などの言葉を知っており，かつ，3割以上がその内容を，もっと詳しく知りたいと思っていることが報告されている（高城ほか 2003)。小学校理科での発達課題は，子どもの持つ自然に対する素朴概念を的確につかみ，単元を構成し，教材を選定するプロセスが重要とされているが（藤田ほか 2003)，従来，小学校において扱うことがなかった遺伝子に関する内容においても，子ども達が素朴に知りたいと感じる漠然としたイメージに対し，何らかの学習を準備することは可能と考えられる。

遺伝子に関する学習過程を系統的にとらえた場合，個体→細胞→核→染色体→DNAというマクロからミクロ，ナノのレベルへの順序でシームレスに学習を進めることが，通常考えられるスムーズな展開であり，かつ，今日までの学習指導要領でも実施されてきた順序である。それぞれの内容をどの学年（学校）で学ぶかは，その時代の学習指導要領より若干異なることはあったが，実際，この流れは系統的であるため，従来ならばこれで問題はなかったのである。しかし，この流れでは遺伝子本体であるDNAの学習が最後となり，遺伝子リテラシーの普及の点から見れば，問題のある展開といわざるを得ない。

今日課されている問題は，学習の最後に出てくる遺伝子の内容を，より前の段階で学習させることなのであるが，もちろん，これは内容のすべてを学習することを意味しているわけではない。重要なことは，子どもが内容に触れる開始時期の問題であり，かつ，その程度の問題である。従来の学習の系統だった流れを短絡化するならば，考え得る過程は，個体→細胞→DNA，もしくは個体→DNAの流れとなるであろう。前者は，「すべての生物は細胞からできており，すべての細胞の中にはDNAが含まれている」という展開であり，後者は「すべての生物にはDNAが含まれている」という展開である。どちらの展開においても，小学校から高等学校までのカリキュラムを，まったく従来と異なる物にしてしまえば，自由な展開が可能となる。しかし，実現性を考えれば，次期学習指導要領を踏まえて，従来型の学習指導要領の部分変更で実施できるものを考えるべきであろう。

本研究では，平成17年度に東京学芸大学生物学教室の全教員が，本学附属小金井小学校および本学附属教員養成カリキュラム研究開発センターと行った共同研究を踏まえ，遺伝子に関する内容を理科教育へ導入するにあたっての問題点を探り，その解決策を提案した。

2．学習指導要領における特徴と問題点

2．1　遺伝に関わる学習の変遷

平成10年告示の文部科学省小学校指導要領の5年生理科には，「生命の連続性についての見方や考え方を養う」という目標が設定されている。しかし，内容を見る限り，生命現象の条件との関わりが重視され，生命の連続性に関する記述は弱いものとなっている。これに対し，昭和43年告示の小学校指導要領4年の目標には「種類としての大きさや形は，世代を繰り返してもあまり変わらないことを理解させる」という項目が含まれている。これは，まさに遺伝の内容を子どもに気付かせる内容である。この指導要領は教育の現代化の下，科学の方法や探究の過程を追求したものであったが，後に「落ちこぼれ」問題を引き起こしたとされるものであった。

また，平成10年告示の中学校学習指導要領では，「遺伝」という言葉を使用せず，「親の形質が子に伝わる現象」「親の形質が子に伝わること」と表記している。また，遺伝に伴う「進化」は削除され，高校で学ぶ内容となっている。遺伝の表記が指導要領から削除されたのは昭和33年告示の中学校学習指導要領以降，初めてのことであった。また，現行の指導要領下で作成された教科書では中学校2年生で「受精」を扱うが，それまでの学習の過程で細胞の「核」が扱われていない。「核」という言葉が初めて使われるのは3年生になってからであり，このことも，現行の指導要領の下で遺伝子に関する学習を困難にしている要因となっている。なお，この件に関し，附属小金井中学校の一理科教員から，「核」の用語は1年生で使用したいとの声が寄せられた。

2．2　小学校への導入に伴う問題

前述した「すべての生物は細胞からできており，すべての細胞の中にはDNAが含まれている」という授業展開も，「すべての生物にはDNAが含まれている」という授業展開も，教養を積んだ大人にとっては，すんなり受容できるものであろう。しかし，早期教育の対象となる小学生のすべてが，このことを真の理解と共に受容できるかについては懐疑的にならざるを得ない。藤田ら(2003）は子どもの発達段階と自然科学の関わりについて「子どもは発達の過程で，最初に自然の事物・現象との関わり合いにより，自然に対する気づきを行い，中学や高校に進むと，その気づきは，より厳密な測定や観察により概念を形成し，それにより一般化をおこなうことで，自然科学の概念体系を形成する。また，観察や実験を繰り返し体験することで，科学の方法を習得し，やがて，自然をとらえる見方・考え方（科学的自然観）を形

成する」述べている。それゆえ，トップ・ダウンになるような授業の課題提示はできるだけ避けるべきである。いきなり「DNAを抽出してみよう」というような指導者からの投げかけで始まるものは，通常の授業を受けている子どもから見れば唐突と思われるものであろう。出前授業や体験学習のような特別授業では，事前指導の時間がないため多くがこの形式をとるが（農林水産先端技術産業振興センター 2005），子どもの自然な思考過程を大切にした授業を行うためには，導入部での工夫が重要となる。

3．附属小学校での実践授業に対する改良策

3．1　小学生が理解できる用語

本研究では附属小金井小学校の教員に研究協力者となってもらい，遺伝に関わる内容を従来授業の中に含める授業を実践してもらった（傳幸 2006）。ここでは，その授業から明らかになった問題点を挙げ，それらの解決方法について論議したい。

共同研究者と研究協力者との最初のミーティングにおいて，附属小学校の5年生の授業で用いる「遺伝子に関係する言葉」が討議された。その結果「遺伝子」，「DNA」，「設計図」の用語は授業では使用せず，「情報」の語を用いることになった。これは，授業担当教員の「遺伝子」の用語に対する抵抗感によったわけでなく，その用語が授業のテーマとなる時に，初めてそれを用いるのがふさわしい，すなわち，子どもの興味，関心が最大に惹かれるときに，関連する用語を使うのが適当とする考えに基づく決定であった。精子と花粉の役割を子どもが気がついた時に，「情報」という言葉であれば彼らはその機能をストレートに表現できる。つまり「情報を伝える」という表現ならなら子ども達も使用できるという理由からである。もう一歩踏み込んで，その情報を伝えるものが「遺伝子」であると教え込むことも可能かもしれないが，今回の授業ではそれは行わなかった。これは附属小学校が子どもの理論を重要視し，大人主導の教え込みを極力排除する教育方針をとっているためである。しかし，前述のアンケート調査では9割近い子どもが遺伝子関係の用語を聞いたことがあると答えているのである。仮に授業で「遺伝子」の言葉を使った場合，子どもは遺伝子の機能を理解できなくなるのか，あるいは短期間でそれを忘れてしまうのかを調査する価値は充分あると思われる。

「情報」は遺伝子と同じく，目で見える形をとらない概念的なものである。しかし，この言葉は，一昔前と異なり，世間一般で使用される言葉となっている。学校におけるIT環境の整備は国策として行われており，授業の結果，情報の概念は5年生の子ども達にも理解してもらえたようである。情報は異なる形の媒介物を通して第三者へ運ばれる。例えば，演奏された音楽がCD，MD，カセットテープなどの見た目の異なる媒体に録音され，それがスピーカーから再生されると，録音時の音が聞こえてくる。この過程は，親の個体から配偶子を経て，子の個体へと遺伝子が伝わる様とよく似ているのである。

3．2　動物教材

附属小学校でメダカの受精について授業を行い，精子の役割について子どもに問いかけたところ，遺伝情報に関する返答を得ることはできなかった。これは，現行の指導要領およびそれまでの授業の展開からすれば致し方のないことであったかもしれない。そこで，「大学の先生に聞いてみましょう」ということになり，大学教員が親の情報を子どもに伝える役割を担っているとの解説を行うこととなった。しかし，遺伝子に関する授業が授業として成り立つためには，この時点で子どもが何らかの推測を行うことが大切である。この授業の結果は，子どもから精子の役割の解答を導くためには，教師の工夫が必要であることを示唆しているのである。

今回の授業では発言はなかったが，精子の役割を発問したときに考え得る子どもからの解答がある。それは，「精子は子孫を作るために必要なもの」という解答である。これは誤った解答ではないが，本授業で望む解答ではない。

それでは「情報を伝えるもの」という考えを導くためにはどうしたら良いであろうか。著者は精子や卵子と成体との形態の相違，受精卵から成体への形態の変化を考えさせる過程から，その役割を考えさせることを導きたいと考えている。つまり，「親と精子（卵子）は形が違うのに，なぜ子孫では親と同じような特徴をもつのだろうか」という発問と，「精子（卵子）の中には何があるのだろうか」という2つの発問を組み合わせることで，この過程で情報の受け渡しがあること，また，精子（卵子）の中には情報が入っていることを気付かせるのである。

また，この発問に対し正しく考えが導かれるよう，発問前に親と精子（卵子），子孫の特徴を子どもに列挙させ，板書して整理しておくことが，生活環の異なるステージの属性についてのクラス全体の認識を高めるために重要であろう。また，この際，文字だけでなく，親，精子（卵子），子孫の絵も文字の上に示す（図1）ことは，子どもの概念的な思考作業に対し，視覚的にサポートできるため有効であると思われる。

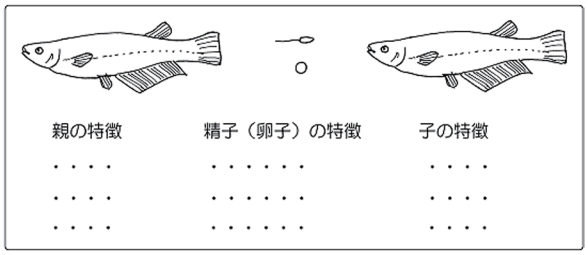

図1　精子と卵子の役割を考えさせる板書例

小学校における遺伝情報に関する学習は，まず，精子と卵子の写真が教科書に掲載されているメダカで確実に理解させた上で，ヒトの場合を比較により理解させるのがよいだろう。そして，配偶細胞と受精のシーンの観察が難しい「植物」を取り上げるのは，次の段階となる。

3．3　植物教材

附属小学校ではオシロイバナを用いて計7時間を用いて授業が行われた。その中で一つのハイライトとなった授業場面は，花粉の役割について子ども達が持論を展開し討議した場面であった。子どもが考えた花粉の役割は，エネルギー説，精子説，種に関係説，子房に関係説に分類されたが，当初から多かったエネルギー説は再実験を行った後もそれを否定するまでには至らず，また，他の説を確証できるものもなく，水掛け論になってしまった（傳幸　2006）。一連の子どもの討議の活動自体は活発なもので，小学生の活動として大いに評価できるものであったが，解決を見いだす可能性が少ない討論は，できれば避けたいものである。

生物が関与するエネルギーについて，子どもが「エネルギー」の言葉に教科書で最初に出会うのは，中学校理科第2分野上で1年次に学習する光合成の箇所である（啓林館平成14年度用中学理科教科書）。次に使用される箇所は2年次の呼吸の学習の箇所であり，最後は生態系における生産者の箇所である。しかし，狩野（2005）の分析によれば，これら生物が関与するエネルギーを，実験として実体験できるものが教科書に掲げられていないのが現状であり，中学生にとっても，生物が関与するエネルギーは概念として理解しなくてはならない状況にあるといえる。さらに，村上（2005）は中学校3年次の小単元「エネルギー」を1年次の最初の時期に「自然科学全般に対応したエネルギーの定義」として学習することを提唱するように，エネルギーに対する教育は，それ自体がカリキュラム上の問題を含んでいる。このような状況において，教師は確固たる学習根拠のないエネルギー説が討議に載らないよう授業の舵取りをする必要があるだろう。このためには，子どもが花粉の役割として，エネルギーの供与体を考えず，遺伝情報伝達をストレートに考るよう発問における工夫が必要であろう。そこにおいては三石（2003）が述べる5つの過程，すなわち，①子どもが事実認識をもとに課題解決できるか，②クラス討論等での事実の交流で解決できるか，③教師のヒントで解決できるか，④教師の補足説明等で解決・納得できるか，⑤そもそも今の子どもらにとっては解決困難な課題なのか，を充分考慮する必要があるだろう。

子どもたちが花粉の役割を正しい方向で考えるための教授法の一つとして，植物をメダカの場合と比較させることを提案したい。この場合，前出の図を用い，並列して同様の図を植物で示しながら子どもに考えさせることになる。動植物を比較しながら調べ，問題を見いだすことは，現行の学習指導要領では3年生から学習してきたことがらである。この「比較する力」を，遺伝的情報の伝達に関する学習画面でも適用したいものである。また，真山（1982）は受粉と結実に関する小学5年～中学1年生の調査から，1つの知識から他の事象を類推することは容易でないが，複数の教材を用いることで事象についての理解度が高まる，すなわちその集積が概念形成につながることを示したが，この意味においてもメダカと植物を並立提示することは効果があると思われる。

植物（厳密には被子植物）は動物と違い受精場面を観察することが困難である。また，おしべから放出されるのは，精子（精細胞）ではなく，その前段階である花粉である。また，花粉は動物（厳密には脊椎動物）には見られない配偶体世代でもある。したがって，動物との「比較」から植物における遺伝情報の伝達に気付かせることは，厳密には不可能なことである。しかし，小学校で遺伝情報の伝達を扱う目的は，精子や花粉など限定された生活環のステージでの学習ではなく，体細の分裂（体細胞分裂と減数分裂）と細胞の融合（受精）における遺伝情報伝達の理解のための基礎を築くことにある。したがって，精子と花粉とでは生物学的にはかけ離れていても，異なる生活ステージへの遺伝情報の伝達を比較することは意味のあることと思われる。

また，子どもに花粉が遺伝情報の媒介をしていることを，自然な形で想起させるためには，花粉やめしべの柱頭の観察に，なるべく多くの時間を割り当てることも必要である。しかし，これらは小さいため，ルーペによる観察は子どもにとって容易なことではない。教科書には花粉の顕微鏡写真やめしべの柱頭に花粉が付着している実体顕微鏡写真が掲載されているが，やはり実物観察は大切である。附属小学校の授業では，2台の実体顕微鏡を用いてクラス全員の児童が観察を行ったが，驚きの声を上げる子ども，嬉しそうな顔をする子どもがほとんど

であり，葯，花粉，めしべの柱頭について，彼らは強い印象を持ったように思われた。教科書に掲載されている写真はオシロイバナではないが，決して質の悪いものではない。しかし，所詮写真は写真でしかなのが現状のようである。ルーペも正しく使用すれば，それなりに小さな物を拡大して観察が可能であるが，ルーペの正しい使用方法は大学生でも知らない者が多い。実体顕微鏡は立体視ができるため，子どもにとって印象深い像を提供することができるが，小・中学校で実際に所持している学校は少なく，また，購入には値段が高いのが難点である。そこで立体写真を提案したい（図2，3）。立体写真では交差法または平行法と呼ばれる立体視の技法を使うことにより，平板写真から立体像を見ることができるため（田中 1993），2次元の写真と実物の中間的効果を期待できると思われる。今後，効果的な立体写真教材の開発が望まれる。

附属小学校の授業では，花粉がめしべの柱頭に付着した後の花粉管の発達を，ビデオ教材2本を使用して見せた。特にビデオ「種子の中の海」（東京新シネマ 2000年制作）のトレニアの花粉管伸長と精細胞の卵細胞との受精を示した場面では，多くの子どもに驚きの表情が見られた（ビデオのナレーションは子どもには難しいと思われたため，消音状態で鑑賞させた）。トレニアは胚珠が半分露出している植物で，植物では例外的に受精観察が可能である。本ビデオの内容は大学生，高校生向けのものであるが，附属小学校の授業研究のような緻密な計画の下に進められた授業では，小学生の理解を支援する教材となり得たことが特筆される。

4．一般校での授業実施に際しての問題点

附属小学校での授業は「研究」の形で実践されたため，授業時間については相当のやりくりがあったように思う。このような流れと丁寧な内容をもつ授業を一般の学校に導入することはことは，現在の限られた理科の時間数内では困難なものと思われる。しかし次期指導要領では学力向上のスローガンの下，従来のゆとり学習方針の中で精選，厳選されてきた学習内容の増加が予想される。この新しい指導要領の中で，遺伝子に関わる内容をしかるべき学年（学校）へ配置する場合も，新しい内容を導入することで，従来の学習内容が過密にならないよう，配慮が必要である。そのためには現行指導要領で扱われる学年の内容の一部の他学年への再配置も必要になるものと思われる。旧学習指導要領の分析をすることは，

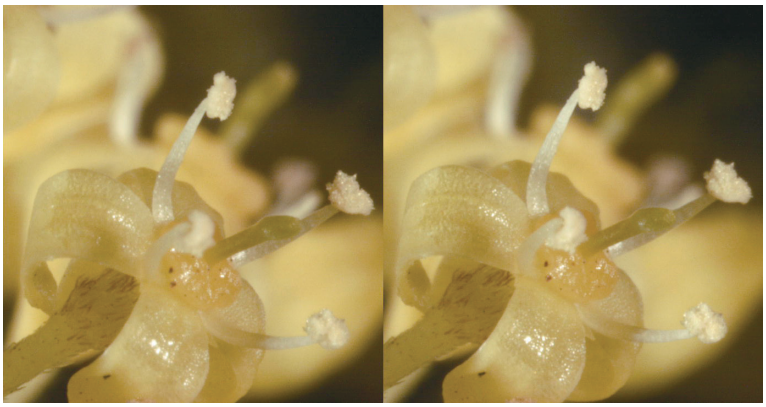

図2　サンシュユの花の立体写真

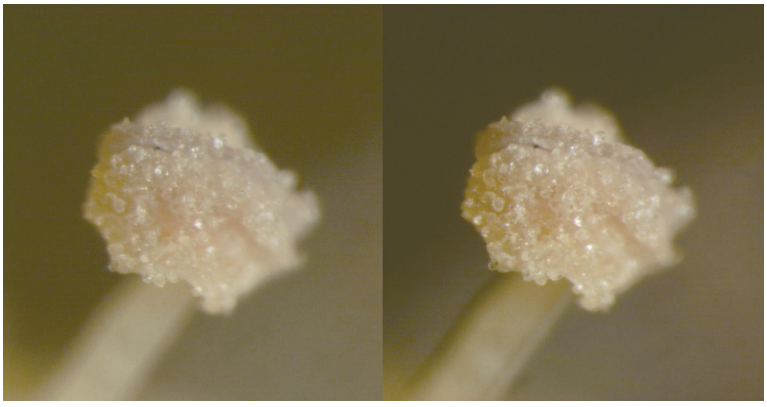

図3　サンシュユの葯の立体写真

このため参考となりうるであろう。

ゆとり学習が言われ始めた平成元年告示の学習指導要領では，「おしべ」「めしべ」の言葉の使用がそれまでの3年生から5年生に変更されている。また，昭和43年および52年告示の学習指導要領では，「めしべの基が膨らんで実になること」を扱っている。これらの内容を取り扱うことは，発達課題として不適当なものであったのか，また，落ちこぼれを引き起こす原因になっていたのかを過去の資料に遡って調査することは意味があるだろう。同年の学習指導要領からは生活科の授業が新たに導入されたが，これにより小学校全体で学習する理科の内容が削減されたのであれば，生活科授業の中に，これらを何らかの形で戻す必要もあるであろう。さらに，時代に適応すべく，理科の授業を2年生から開始することとし，生活科を1年間に減少することの検討も必要かもしれない。

急速に社会が変化する現代は，学校における問題も同様に急速に変化している。遺伝子に関することのみならず，小学校教育に導入する必要があると提言されているものに，食育，英語教育，エネルギー環境教育などがある。当該分野の単なる授業枠分捕り合戦に終わらぬよう，すべての教科間で調和を取り合うカリキュラムの開発を期待したい。

5．謝　辞

本研究にあたり，当初の問題提起をしていただいた故高城忠東京学芸大学教授の冥福を祈ると共に，研究期間を通じて有益な討論をしていただいた同大学の吉野正巳教授，三石初雄教授，原健二助教授，金子真理子助教授，高森久樹助手に感謝したい。また，授業実践と小学校理科教育の観点に立つ助言に，多大なる協力をいただいた東京学芸大学附属小金井小学校の傅幸朝香教諭に御礼申し上げる。本研究の一部は科学研究費補助金（課題番号 16500542）の助成を受けて行われたものである。

6．引用文献

狩野賢司．2005．生物学の視点による現在のエネルギー教育に関する考察．平成16年度広域科学教科教育学研究経費によるプロジェクト「小・中・高等学校における理科及び教員養成課程におけるエネルギー教育のカリキュラムの開発」報告書．東京学芸大学．50–54.

高城忠・吉野正巳・中西史・高森久樹・原健二・岡田憲典・三石初雄・金子真理子．2003．「21世紀にふさわしい理科生物分野のカリキュラムの検討」報告書．文部科学省科学研究費補助金「特定領域研究」新世紀型理数科系教育の展開研究・採択課題．71pp.

田中一喜．C.G. ステレオグラム．小学館．96pp.

傅幸朝香．2006．授業実践　生命のつながりを意識した授業作り～5年生「花と実ので着方の実践を通して」～．東京学芸大学附属小金井小学校研究紀要．28：115–120.

農林水産先端技術産業振興センター．2005．STAFFバイオテクノロジー出前講座テキスト集．78pp.

藤田留三丸・堀井孝彦・田中康善・福地昭輝．2003．小学校理科の授業の展開における留意点．平成14年度教育改善推進費（学長裁量経費）によるプロジェクト「理科を専攻しこなかった小学校教員を対象にした現職教員研修プログラムの開発」報告書．東京学芸大学．45–57.

真山茂樹・小林弘．1982．児童・生徒の受粉と結実についての理解度．東京学芸大学紀要4部門34：109–120.

三石初雄．2003．小学校理科におけるカリキュラム開発の視点を考える．pp.54–61．東京学芸大学教員養成カリキュラム開発研究センター（編）小学校理科におけるカリキュラム開発の試み．東京学芸大学教員養成カリキュラム開発研究センター．

村上　潤．2005．附属中学校理科におけるエネルギー教育の現状と問題点（その2）．平成16年度広域科学教科教育学研究経費によるプロジェクト「小・中・高等学校における理科及び教員養成課程におけるエネルギー教育のカリキュラムの開発」報告書．東京学芸大学．76–77.