

表征变化及其影响因素的微观发生研究*

辛自强 张 丽

(北京师范大学发展心理研究所,北京 100875)

摘 要 Karmiloff - Smith 的表征重述理论认为表征重述是人类获取知识的重要途径,并且表征变化的过程包括程序、元程序和概念化三个阶段。采用微观发生法(包括前测、练习和迁移 3 个阶段,共 8 个期间),以数字分解组合任务为研究材料,探讨了 120 名小学一、二年级儿童问题解决中的表征变化及所受年龄和练习模式等因素的影响。结果表明,前测中存在发展性差异,即二年级儿童达到概念化阶段的人数显著多于一年级儿童,但前测处于程序阶段的儿童接受 5 次解题练习过程中以及在近迁移题目上都没有表现出年级差异,而在远迁移题目上二年级儿童的完成情况好于一年级儿童。练习模式对表征变化的影响主要体现在三个方面:(1)从变化的路线看,与简单模式相比,复杂模式更能促进儿童的表征发生变化,而且这时儿童表征变化的路线更丰富,表征变化发生循环的人数比例也更高。(2)从变化的速度看,复杂模式下儿童在插入难题的两次练习期间表征变化比较迅速,其余期间变化较小;简单模式下儿童在第二次和第三次练习期间表征变化比较迅速,随后变化比较平稳。(3)从变化的广度看,练习中所获表征能力(在最后三次练习中达到元程序或概念化阶段)的推广,无论是在近迁移题还是远迁移题上两种练习模式之下的被试没有明显差异,但两组被试在近迁移题上的表现均好于远迁移题。

关键词 表征变化,知识建构,微观发生法。

分类号 B842

1 问题提出

知识的获得机制是各种学习或发展理论探讨的核心内容之一。其中,新皮亚杰学派代表人物之一 Karmiloff - Smith 的“表征重述理论”对此提出了独到见解而备受人们关注^[1]。

Karmiloff - Smith 认为表征重述,即对已经获得的表征进行重复表征,是人类获取知识的重要途径,且表征重述的过程包括三个阶段。在阶段 1,儿童的行为是“成功取向的”,在问题解决上能够达成成功的表现,这就是 Karmiloff - Smith 所说的“行为的掌握”;由于这个阶段主要是掌握一些相对孤立的解题程序,故称为程序阶段。在阶段 2,儿童的学习开始受内部力量的驱动,他们不再集中于外部材料,而是集中于内部表征的相互作用,称为元程序阶段。在这个阶段,儿童超越了程序上的成功,达成了内部表征的整体组织,对问题的所有部分形成了统一的解决方法,由此儿童产生了“组织取向的”行为。在阶段 3,尽管儿童的行为看起来与第一阶段差不多,

然而这时儿童的内部表征和外部材料的相互作用受到了调控和平衡,维持其行为的表征更加丰富和连贯,在程序组织的基础上获得了概念化的表征,称为概念化阶段。在此阶段,个体发展了认知灵活性与创造性,能将知识迁移到不同领域。

目前, Karmiloff - Smith 的理论在计数、数的加减等数学领域已得到一些研究的证实^[2-5],这些研究多采用的是微观发生法。微观发生法是通过在变化发生的整个过程中对行为进行高密度观察和反复试验分析提供关于认知变化的精细信息的一种方法^[6]。其关键特征是对个体进行多次施测并对被观察行为进行反复的分析,因为多次施测或练习恰好给个体提供了 Karmiloff - Smith 所谓的“表征重述”机会,使得个体有可能对内在表征进行多次重复表征从而建构新知识,所以可采用微观发生法来验证和丰富 Karmiloff - Smith 的理论。

关于 Karmiloff - Smith 的理论,辛自强等曾以数字分解组合任务为例(例如 $\square + \triangle = 4$,要求儿童找到两个合适的数字分别填在正方形和三角形里,使

收稿日期:2005 - 10 - 20

* 国家自然科学基金资助项目(30500162)。

通讯作者:辛自强, E-mail: xinziqiang@sohu.com

其和等于右边的目标数字,由于此任务的解决需要对目标数字进行分解,同时涉及如何组合多个答案即处理多个答案的关系,因此称之为数字分解组合任务),探讨了练习提供表征重述机会的条件下儿童知识表征的微观变化^[7]。结果表明,练习背景下有半数以上的儿童表征水平发生了迅速变化,但其余儿童的表征水平没有发生任何变化。换句话说,练习背景下不是所有儿童都会经历表征重述从而使自己的知识得以建构。这意味着还有其他因素在影响儿童知识表征的变化,但到底有哪些因素影响儿童知识表征的变化呢?本研究拟采用同类任务探讨这一问题。

首先,我们预测年龄可能会影响儿童知识表征水平及其变化。根据 Karmiloff - Smith 的观点,年幼儿童和年长儿童都拥有相似的程序性知识,但年幼儿童的程序性知识之间是相互独立的,而年长儿童的程序性知识则是相互联系、相互依存的,因此年长儿童的表征水平比年幼儿童要高^[8]。前述辛自强的研究^[7]中被试均为一年级儿童,而本研究则选取了一二年级的儿童,由此可以考察二年级儿童的表征水平是否比一年级高。此外,由于知识经验和认知能力(如工作记忆容量)的发展,在练习中二年级儿童的表征水平也可能高于一年级儿童,且表征变化也可能表现出不同特点。研究将对此加以考察。

其次,我们预测练习模式也会影响儿童知识表征的变化。以往有研究表明,不同练习模式对策略的使用和迁移有不同的作用^[9,10]。如辛自强等更早的一项研究中,一组被试接受单一模式(同类型)的练习题目,另外一组接受混合类型的题目,结果发现,单一练习模式有助于快捷策略的发现,但迁移阶段单一模式的优势则消失了^[9]。而 Siegler 等人的研究则发现混合模式比单一模式更有助于迁移^[10]。练习模式对策略发现和迁移的作用究竟如何呢?这也是本研究拟探讨的问题。但与以往研究不同,本研究中的练习模式是根据难度划分为简单和复杂两种。其中简单练习模式下,题目中的目标数字均小于或等于9;而复杂练习模式下,有两道题目中的目标数字是大于10的两位数(分别为15和18),其余则与简单练习模式下的题目相同,而且复杂练习模式下目标数字为两位数的题目与其余题目是交叉混合在一起的,因此称之为复杂练习模式。之所以选择两位数字,是因为以往有很多研究表明,多位数的加减法运算比一位数的运算要消耗更多的心理能

量^[11,12],因此其难度较大。如前所述数字分解组合任务涉及对多个答案关系的处理,而那些处于程序阶段的儿童主要靠随机联想,想到哪个就写出哪个,不同答案之间没有内在的联系和组织,他们未必能找出所有答案,其表征水平比较低;而那些能达到元程序或概念化阶段的儿童则要采取(或部分采取)“顺序化”的策略,即按照某个加数从大到小或从小到大来排列问题答案,这时不同答案之间有内在的联系和组织,儿童基本能找到所有答案,其表征水平比较高。但在组织多个答案呈现顺序时,要以必要的工作记忆容量为前提,以便同时加工若干答案之间的关系。当数字较小时,其答案较少并且儿童对这些数字较熟悉,因此可直接从记忆中提取答案。当数字增大时(如目标数字为15,就有16种可能答案),儿童难以同时加工这么多答案方面的信息,只好求助一定策略来组织答案,以克服工作记忆容量限制。因此,我们预测,与简单练习模式相比,复杂练习模式下由于难度较大题目的插入,会迫使被试考虑采取顺序化策略。

对以上两个问题的探讨是以微观发生法为基础的,即比较不同年龄、不同练习模式下儿童表征变化的路线、速度、广度等微观发生学特征。具体来讲,将主要从以下四个方面进行分析。

第一,变化的路线。它指儿童在获得某种知识或能力的过程中是否经历本质上不同的阶段,有哪些阶段、阶段之间的区别何在。在本研究中,主要分析每个被试在多个实验期间经历的表征水平(程序、元程序和概念化三个阶段)的变化以及这种变化的顺序。

第二,变化的速度。即变化是快是慢?是突变还是渐变?对此,皮亚杰的认知发展理论认为发展阶段是突变的结果,而学习理论大多认为变化是逐渐发生的。这两者孰是孰非?为探讨此问题,将分析儿童完成数字分解组合任务的过程中,在任何前后相邻的实验期间的表征水平的变化。

第三,变化的广度。当儿童对数字分解组合任务中的知识掌握较好时,他们是否能够将这些知识进行迁移呢?为了回答该问题,本研究设计了近迁移和远迁移两道题目,以考察那些通过练习能够较好或很好地完成数字分解组合任务的儿童对知识的迁移程度。

第四,变化的来源。知识经验、任务特点等都会导致认知变化。具体在本研究中,将分析年龄、练习模式、题目特点、练习次数等对儿童表征变化(路

线、速度、广度等)的影响。

总之,本研究拟通过微观发生法探讨儿童完成数字分组任务过程中的表征变化及其影响因素,以期为回答上述问题提供某些依据。

2 研究方法

2.1 被试

从北京某小学一、二年级学生中选取四个班的120名儿童作为被试。其中一年级两个班共54人,男生34名,女生20名,平均年龄7.0岁。二年级两个班共66人,男生36名,女生30名,平均年龄7.8岁。

2.2 研究模式

本研究采取微观发生法,具体模式见表1,包括8个实验期间。期间1为前测,所有被试接受同样的测查题目($\square + \triangle = 4$),主要用于确定对于数字分解组合任务儿童是否达到概念化阶段,标准是儿童按顺序写出 $0+4$ 、 $1+3$ 、 $2+2$ 、 $3+1$ 、 $4+0$ 五个答案,并且解释时明确说出了顺序化策略。前测中发现120名被试中有33名(一年级5名、二年级28名)已经达到了概念化阶段,他们不必参加期间2~6的练习,但要参加期间7、8迁移阶段的测查,用以比较在前测中就达到概念化阶段的被试和经过练习达到概念化阶段的被试的知识迁移程度。剩余87名被试(前测中都处于程序阶段)则按照年龄、题目呈现方式随机分成四组。其中,一年级49名被试中23名接受简单练习模式(五个练习题目中的目标数字最大为9),26名接受复杂练习模式(两个练习题目中的目标数字分别为15和18,其余三个最大为9);二年级38名被试中19名接受简单练习模式,19名接受复杂练习模式。

表1 期间与任务

期间	简单练习模式	复杂练习模式
S1 前测	一道数字题目(目标数字为4)	
S2 学习	一道数字题目(目标数字为5)	
S3 学习	一道数字题目(目标数字为8)	一道数字题目(15)
S4 学习	一道数字题目(目标数字为7)	
S5 学习	一道数字题目(目标数字为6)	一道数字题目(18)
S6 学习	一道数字题目(目标数字为9)	
S7 迁移	一道近迁移文字应用题	
S8 迁移	一道远迁移文字应用题	

在总共8个实验期间里,期间1的前测主要为了筛选出那些没有达到概念化阶段的被试;期间2

~6为学习阶段,主要考察儿童表征变化的特点(包括变化的路线、速度和广度)及其原因(变化的来源);期间7、8为迁移阶段,主要考察经过练习儿童所获表征在难度更大的迁移题目上的推广或迁移程度。

2.3 研究材料

实验任务为数字分解组合任务,该任务的题目为纯粹数字形式,如 $\square + \triangle = 4$,要求儿童找到两个合适的数字分别填在正方形和三角形里,使其和等于右边的目标数字。在前测和学习阶段,施测的都为此类题目。

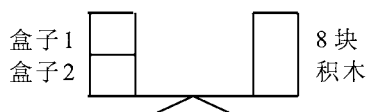


图1 跷跷板问题

在迁移阶段的S7和S8,儿童分别接受近迁移和远迁移文字应用题。近迁移题目为“这是一个跷跷板(图1),在它右端的大盒子里放了8块积木,而在左边有两个上下叠放在一起的小盒子,请问上下两个小盒子分别放几块积木,才能使得跷跷板两端平衡?”该题需要儿童将数学知识应用于实际生活情境中。具体来说,儿童需要正确理解文字所描绘的情境,建构能体现情境中隐藏元素和关系本质的数学模型以及执行具体的运算。这里的数学模型与练习阶段的题目完全相同,儿童要完成此题目,只要正确理解情境并发现其中的数学模型,然后将练习阶段获得的知识直接迁移过来即可,故称为近迁移题。

而远迁移题目是“买一根铅笔要花8毛钱,现在有5张1毛的纸币和3张2毛的纸币,如何给售货员付钱?”。要解决此题目,儿童不能只对数字8进行分解就解决问题,而必须同时考虑1毛和2毛纸币的数量并对其进行一定的组合,因组合和分解一样可以使用顺序化的策略,因此该题目可称为是练习题目的迁移题目。但是,与近迁移题目不同,此题目的数学模型与练习阶段的不完全相同,儿童不能直接迁移练习阶段的知识,而是需要对这些知识进行一定的抽象概括和转换才行,因此称为远迁移题目。

每个测查题目,都用小初号字单独打印在 $14\text{cm} \times 2.5\text{cm}$ 大小的题板上,另有答题纸和记录纸分别用于记录被试的解题结果和解题过程信息。要解决此问题,儿童同样也需要正确理解情境、建构情境中

隐藏的数学模型并执行运算。

2.4 研究程序

采用个别施测,利用学生下午的自习时间,在被试所在学校里的一些空闲教室里进行。由心理学专业的研究生担任主试,实验前首先对主试进行培训,以统一指导语和一些意外情况的处理。具体来说,施测过程分为以下三步:

(1)前测。此阶段,所有儿童接受一道数字题目,即 $\square + \triangle = 4$ 。指导语为“请把两个合适的数字分别填在方框和三角里,使这两个数的和等于右边的数字,想到答案后就将这两个数字写到答题纸上,并且你能想到几个答案就写几个答案。做完的时候立刻告诉老师‘做好了’”。

被试完成以后,主试开始访谈,访谈题目为:(1)还有其他答案吗?(2)你是怎么想到这些答案的?如果儿童表示不知怎么回答,可继续问“第一个答案你是怎么想出来的?第二个呢?第三个呢?”。如前所述,达到概念化阶段的被试不需进入学习阶段而直接进入迁移阶段,而其余被试必须进

入学习阶段后才进入迁移阶段。

(2)学习阶段。进入此阶段的所有被试需接受五道数字表征题目。施测程序与前测阶段完全相同。不管儿童在学习过程中是否发现了顺序化的规律,五道题都必须施测。

(3)迁移阶段。此阶段所有被试都分别接受一道近迁移题目和一道远迁移题目,其具体施测程序与学习阶段相同。

2.5 资料编码

本研究通过实施数字分解组合任务,主要获得有关被试解题结果和解题过程的文本信息。对这些资料的编码主要建立在 Karmiloff - Smith 的表征重述三阶段理论基础上。根据此理论,表征变化的过程可以分为三个阶段即程序、元程序和概念化阶段。三个阶段的具体内涵和操作定义以及每一阶段达到的表征水平见表 2,该编码表曾在有关研究^[7]中使用,效果较好。编码过程中,如果个别被试不会作答(尤其是迁移阶段),其知识建构水平统一编码为程序阶段。

表 2 表征变化的阶段

阶段	内涵	操作定义
阶段 1: 程序	儿童的学习完全是材料驱动的,表征主要是根据外在环境的信息建立的,依赖于背景的	解题程序的每一步与每一步之间是单独的,集中于不同的部分或步骤。如“和等于 5 的有 3 加 2,1 加 4,4 加 1,2 加 3,0 加 5,5 加 0。这些答案我想到一个写一个。”
阶段 2: 元程序	儿童的学习开始受内部力量的驱动,他们不再集中于外部材料,而是集中于内部表征的相互作用	开始注意到部分程序或步骤之间的联系、规律,内部表征有一定的组织性,包括①间隔顺序排列,如“和等于 5 的有 1 加 4,4 加 1,2 加 3,3 加 2,0 加 5,5 加 0。首先想到了 1 和 4,后面 4 和 1 是颠倒过来的。2 和 3 是由 1 和 4 想到的,2 比 1 大 1,3 比 4 小 1……”;②部分结果按照顺序排列,如“1 加 4,2 加 3,3 加 2,0 加 5,5 加 0,4 加 1。前面按照 1,2,3 这样想,后面想到一个写一个”;③检查时顺序化,“3 加 2,1 加 4,4 加 1,2 加 3,0 加 5,5 加 0。比 5 小的数字 0,1,2,3,4,5 都有了,没有其他答案了”。
阶段 3: 概念化	内部表征和外部信息之间达到了平衡	发现了所有程序之间的联系,将所有数字组合按顺序化规律排列,并能够用言语表达出来。如“和等于 5 的有 0 加 5,1 加 4,2 加 3,3 加 2,4 加 1,5 加 0,我按顺序进行排列”

3 结果与分析

3.1 年龄对儿童表征水平及其变化的影响

关于年龄对儿童表征水平的影响,首先考察了前测中不同年级儿童达到概念化阶段的人数情况。前测一年级 54 名儿童中有 5 名、二年级 66 名中有 28 名达到了概念化阶段,且一、二年级达到概念化阶段的人数差异非常显著, $Z = 4.05, p < 0.001$ 。这说明儿童的知识表征水平存在发展上的差异。那么,将这些前测中达到概念化阶段的儿童筛选掉,剩余的一、二年级儿童是否在练习阶段仍表现出差异呢?对此,我们探讨了不同年龄儿童在练习阶段的

每个期间达到不同表征水平的人数差异情况,结果表明,两个年级儿童在五个期间达到不同表征水平的人数差异均不显著, $\chi^2(2, N = 87) = 5.51, \chi^2(2, N = 87) = 0.39, \chi^2(2, N = 87) = 3.30, \chi^2(2, N = 87) = 0.49, \chi^2(2, N = 87) = 5.09, ps > 0.05$,这说明在练习阶段儿童的表征变化没有年龄差异,即随着练习次数的增加,不同年龄儿童达到不同表征水平的人数情况并没有显示出很大差异。这与我们的预期结果不一致,其原因可能在于两个年级儿童年龄差异太小,或者练习题目对两个年级儿童来说有些简单。

筛选后的一、二年级儿童在练习中没有显示出差异,这是否意味着他们在迁移阶段也没有差异呢?

统计结果表明,在近迁移题目上,一、二年级达到不同表征水平的人数情况差异不显著, $\chi^2(2, N=87) = 2.08, p > 0.05$,但远迁移题目上差异非常显著, $\chi^2(2, N=87) = 9.98, p < 0.01$,这主要表现在二年级儿童保留在程序阶段的人数(74%)显著少于一年级儿童(96%), $Z = 2.98, p < 0.01$,而达到概念化阶段的人数(24%)显著多于一、二年级儿童(2%), $Z = 3.14, p < 0.01$ 。之所以有这样的结果,可能是因为近迁移题目涉及的“跷跷板”情境一、二年级儿童都比较熟悉,并能很好地抽象出其中的数学模型;但远迁移题目涉及对“元、角、分”的认识,一年级儿童刚刚学这部分内容还没有完全掌握,而二年级儿童已熟练掌握,再加上此题目对儿童认知能力尤其是抽象概括能力也有更高要求,因此知识经验较丰富、认知能力较高的二年级儿童就要比一年级儿童能更多地正确理解情境并抽象出其中的数学模型。

总之,一、二年级儿童在前测中是存在发展性差异的,但本研究更关心前测中没有达到概念化阶段而处于程序(或元程序)阶段的被试在练习过程中的表征变化情况。而上述分析表明练习过程中儿童的表征变化没有显著的年龄差异,因此我们将不再分别对一、二年级儿童的表征变化进行微观发生分析。

3.2 不同练习模式下儿童表征变化的差异

首先,我们探讨了不同练习模式下儿童在练习阶段的每个期间达到不同表征水平的人数差异情况。如图2和图3所示,在期间2,两组被试中保留在程序阶段的人数均占绝大多数,其次是达到概念化阶段的,最后是达到元程序阶段的。在期间3,两种模式下停留在程序阶段的被试都有所减少,同时达到元程序阶段的人数有所增加,但复杂练习模式下儿童数量的变化更为明显。在期间4、5、6,简单练习模式下保留在程序阶段的儿童人数表现出持续下降的趋势,达到元程序阶段的人数表现出持续增长的趋势,而达到概念化阶段的人数变化较平缓;比较而言,复杂练习模式下,保持在程序阶段的儿童人数先有所回升后有明显下降而后又有所回升,与之相反,达到元程序阶段的儿童先有所减少而后有所增加而后又有所减少,而达到概念化阶段的儿童在期间3变化平稳后在期间4有所增加、最后到达期间5时又有所回落。对每个期间两种模式下儿童达到不同阶段的人数进行非参数差异检验,结果表明在期间5两种练习模式下儿童达到各表征水平的人数差异非常显著, $\chi^2(2, N=87) =$

$7.87, p < 0.05$,在期间3亦可达到边缘显著, $\chi^2(2, N=87) = 5.50, p = 0.06$,在其余期间差异均不显著。由于两种练习模式的不同主要体现在期间3和期间5题目的不同(见表1),所以导致在这两个期间里接受两种练习模式儿童的表征水平有所不同,这说明练习模式对儿童知识表征的变化有显著影响。

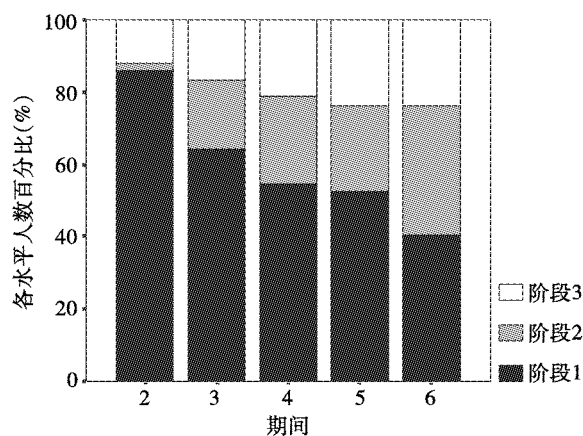


图2 简单练习模式下儿童在每个期间达到不同表征水平的人数变化

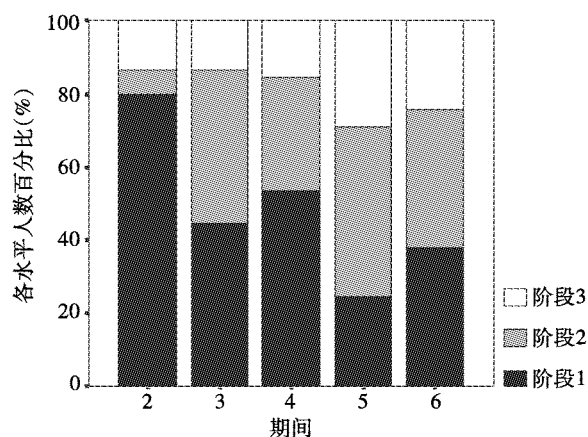


图3 复杂练习模式下儿童在每个期间达到不同表征水平的人数变化

为了进一步了解练习模式对知识表征变化的影响,对两种练习模式下儿童的知识表征变化进行了微观发生分析。这主要集中在表征变化的路线、速度、广度以及来源等方面。

3.2.1 表征变化的路线 对此,本研究在个体水平上,对接受简单练习模式的42名被试和接受复杂练习模式的45名被试五个期间的知识表征变化情况进行了精细分析。具体参见图4和图5,图中①、②、③表示知识表征达到的阶段,线段上面或下面的数字表示有多少被试的表征变化按此路线发生。

因为接受简单练习模式的 42 名被试中,有 16 名在练习过程中表征没有发生任何变化,一直停留在程序阶段,因此图 4 中只列出了剩余 26 名被试(占接受简单练习模式总人数的 62%)的表征变化路线。同理,图 5 中只列出了接受复杂练习模式的 45 名被试中表征发生变化的 38 名被试(占 84%)的表征变化路线,其余 7 名表征没有发生任何变化。值得注意的是,统计结果表明复杂练习模式下表征发生变化的人数显著多于简单练习模式, $Z = 2.06, p < 0.05$,这说明复杂练习模式较简单练习模式更能促进儿童的表征发生变化。

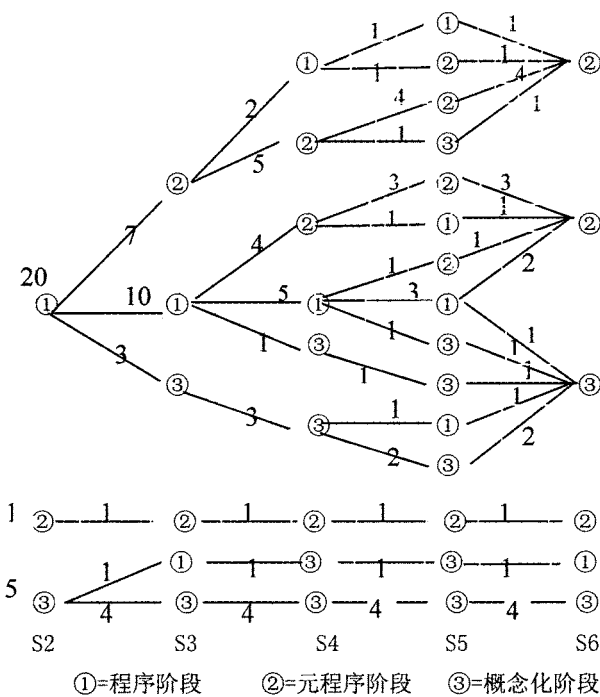


图 4 简单练习模式下儿童表征变化的路线

首先,如图 4 所示,26 名被试的表征变化共有 16 种路线,但归纳起来实质上只有五种:(1)从程序阶段发展到元程序阶段后又发展到概念化阶段最后又回到程序阶段,按此路线发展的有 1 人;(2)从程序阶段发展到元程序阶段的有 11 人;(3)从程序阶段直接发展到概念化阶段的有 9 人;(4)从程序阶段发展到元程序阶段而后又退回到程序阶段,最后又发展到元程序阶段的有 3 人;(5)从程序阶段发展到概念化阶段而后又退回到程序阶段的有 2 人。此结果揭示的表征变化路线种类与以往我们的研究结果比较一致^[7],Karmiloff - Smith 提出的儿童表征变化的一般路线,即从程序阶段到元程序阶段再到概念化阶段,只是其中的一种,实际的表征变化路线更丰富多样,至少对于数字分解组合任务是如此。

与接受简单练习模式的儿童相比,接受复杂练习模式的儿童其表征变化路线更为丰富。如图 5 所示,38 名被试的表征变化共有 26 种路线,归结起来共有十种,其中前述五种路线上的人数依次为 1、11、4、10 和 3 人。此外,还有从程序阶段发展到元程序阶段最后到概念化阶段(3 人)、从程序阶段发展到概念化阶段再到元程序阶段(2 人)、从程序阶段发展到元程序阶段而后又返回到程序阶段最后到概念化阶段(1 人)、从程序阶段发展到元程序阶段后到概念化阶段最后又返回到元程序阶段(1 人)、从程序阶段到概念化阶段后又返回到程序阶段最后又发展到元程序阶段(2 人)等五种。

与表征变化路线相关的另一个问题就是表征变化的先后顺序。按照 Karmiloff - Smith 的三阶段理论,表征通常是按照从程序阶段到元程序阶段再到概念化阶段的顺序发展的。这里的“阶段”与通常的“年龄阶段”概念不同,不与特定年龄或时期对应,而是在整个发展过程中各微领域“循环”发生的。这里 Karmiloff - Smith 强调的“循环”主要指不同领域中,表征水平变化的过程可以类似地发生。

但本研究显示,在同一领域,至少对数字分解组合任务来说,表征水平也可循环反复变化。参见图 4 和图 5,可以观察到简单练习模式下,表征变化发生循环的共有 6 人(从程序阶段发展到元程序阶段而后又退回到程序阶段最后又发展到元程序阶段的 3 人、从程序阶段发展到概念化阶段而后又退回到程序阶段的 2 人、从程序阶段发展到元程序阶段后又发展到概念化阶段最后又回到程序阶段的 1 人),占简单练习模式下表征发生变化的总人数(26 名)的 19%。而复杂练习模式下,表征变化发生循环的共有 20 人(如上所述的 7 人、从程序阶段发展到元程序阶段而后又退回到程序阶段最后又发展到元程序阶段的 10 人、从程序阶段发展到概念化阶段而后又退回到程序阶段的 3 人),占复杂练习模式下表征发生变化的总人数(38 名)的 53%。而且,虽然两种练习模式下都存在表征变化循环的现象,但复杂练习模式下此现象发生的比例显著高于简单练习模式下的比例, $Z = 2.36, p < 0.05$ 。这一点,也可以从复杂练习模式下很多儿童在期间 6 又回到程序阶段,而简单练习模式下只有一人回到程序阶段直观地看出来。这说明在某个小领域知识的微观建构并不一定是单调递增地变化,而可能存在循环反复现象。

综上,复杂练习模式比简单模式更能促进儿童

的表征发生变化,而且复杂练习模式下儿童表征变化的路线比简单模式下要丰富,表征变化发生循环的比例比简单练习模式下要高。

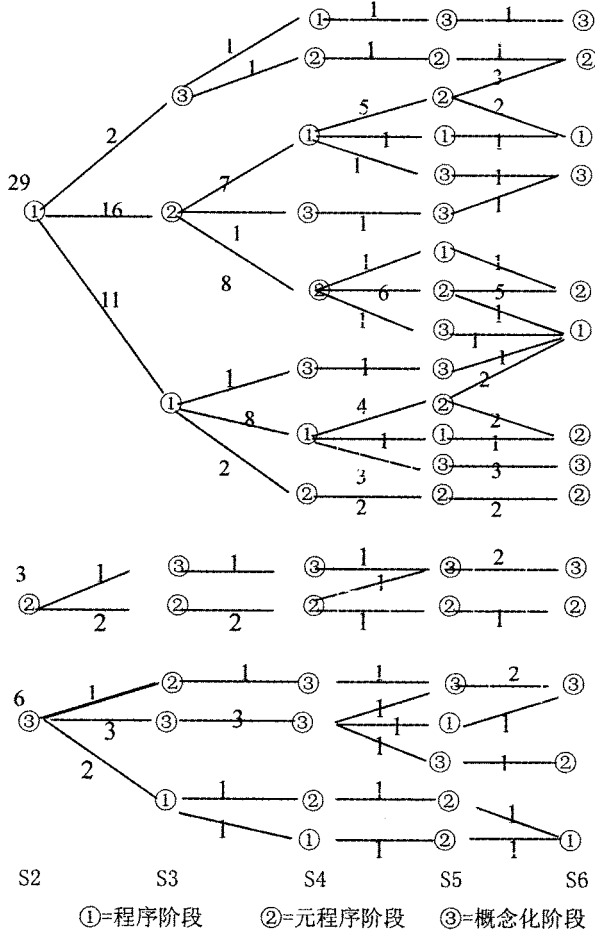


图5 复杂练习模式儿童知识表征变化的路线

3.2.2 表征变化的速度 儿童知识表征的变化速度是突然的还是渐进的?我们分别对两组被试所有前后相邻的两个实验期间达到不同知识表征水平的人数情况进行了相关样本的差异检验。统计分析表明,简单练习模式下,期间2和期间3之间的差异显著, $Z_{2-3} = 2.16, p < 0.05$,其余相邻期间差异均不显著, $Z_{3-4} = 1.61, Z_{4-5} = 0.54, Z_{5-6} = 1.16, ps > 0.05$;复杂练习模式下,期间2和期间3之间的差异非常显著, $Z_{2-3} = 2.64, p < 0.01$,同时期间4和期间5之间的差异也非常显著, $Z_{4-5} = 3.00, p < 0.01$,而剩余相邻期间的差异均不显著, $Z_{3-4} = 0.65, Z_{5-6} = 1.66, ps > 0.05$ 。

简单练习模式下只有期间2和期间3之间的差异显著,这说明在第二次练习和第三次练习期间,儿童表征水平的变化比较迅速,很多儿童的表征水平发生了变化。结合图2可以看出,这期间达到元程

序阶段的被试有明显增加,而保留在程序阶段的被试有明显减少。此后,儿童表征水平的变化一直比较缓慢,因此在期间4、5、6表征水平达到不同阶段的儿童数量变化不显著。这说明在儿童表征发展的过程中,既存在快速发展期,也存在相对的平稳期。

与简单练习模式相比,复杂练习模式之所以复杂在于期间3和期间5的练习题难度较大。通常情况下,对类似题目进行多次练习后,儿童的行为就会变得越来越自动化和机械化,这时插入一道难度较大的题目,则会促使儿童对问题进行深入思考和加工,因而促使儿童的表征水平发生变化。我们的研究表明,插入的两道题目确实促使儿童的表征水平发生了迅速变化,因此期间2和期间3之间、期间4和期间5之间表征水平达到不同阶段的儿童数量发生了很大变化。结合图3,在期间3,儿童表征水平的变化主要表现为发展到元程序阶段的儿童迅速增多,而在期间5,发展到元程序阶段的和概念化阶段的儿童数量都有迅速增多。这说明通过改变题目的难度,能促使儿童的表征水平发生迅速变化。

3.2.3 表征变化的广度 在练习阶段儿童获得的知识表征能力是否具有普遍性、是否能够推广到其他题目上呢?对此,我们首先对比了在前测中就达到概念化阶段的儿童(一年级5名、二年级28名)和那些在练习过程中至少有一次达到概念化阶段的儿童(一年级18名、二年级12名)的迁移题目完成情况。结果表明,前测中达到概念化的儿童的近迁移题目完成情况显著好于练习过程中达到概念化阶段的儿童的题目完成情况,这两组被试在近迁移题目上差异显著, $Z = 2.26, p < 0.05$,但远迁移题目上差异不显著, $Z = 1.18, p > 0.05$ 。此结果该如何解释呢?由于前测中达到概念化阶段的儿童存在显著的年级差异, $\chi^2(1, N = 23) = 16.03, p < 0.001$,而练习过程中达到概念化阶段的儿童并不存在显著的年级差异, $\chi^2(1, N = 28) = 0.57, p > 0.05$,因此很难确定,近迁移题目上两组儿童表现出来的差异是由于儿童的有无练习经验造成的还是年龄差异造成的,这将有待于进一步的研究和探索。

对表征变化广度另一方面的考察,主要是探讨那些至少在最后三次练习中发展到元程序阶段或概念化阶段的儿童,是否能很好地将练习阶段获得的知识推广至迁移阶段的近迁移题目和远迁移题目。能够达到元程序阶段或概念化阶段,说明儿童对数字分解组合任务中的部分程序或所有程序之间建立了联系,即能够对题目的部分答案或所有答案采取

顺序化的策略,而能够在至少最后三次练习中(一半以上的期间)都保持在元程序阶段或概念化阶段,说明儿童已能较好或者很好地掌握顺序化的策略。

结合图4和图5可以看出,简单练习模式下能在最后三次练习中保持在元程序阶段(8个)或概念化阶段(7个)的儿童共有15个,占接受简单练习模式的总人数(42名)的36%,而复杂练习模式下共有12人(元程序阶段9名、概念化阶段3名),占接受复杂练习模式的总人数(45名)的27%。对此进行差异检验的结果表明,两种条件下能在至少最后三次练习中保持在元程序阶段或概念化的儿童数量差异不显著, $Z=0.91, p>0.05$,这说明在促进儿童较好或很好地掌握顺序化的策略方面,复杂练习模式与简单练习模式的效果在最后三次练习中没有明显差异。

然而,两种练习模式下这些儿童的迁移情况是否有差异呢?简单练习模式下,这15名被试中有9名在近迁移题目上表现出原有的甚至高于原有的表征水平(60%);在远迁移题目上,共有4名表现出原有的甚至高于原有的表征水平(27%)。复杂练习模式下的12名被试中有7名在近迁移题目上表现出原有的甚至高于原有的表征水平(58%);远迁移题目上,共有3名表现出原有的甚至高于原有的表征水平(25%)。综合分析这些数据可以说明:从变化的广度看,练习中所获表征能力(在最后三次练习中达到元程序或概念化阶段)的推广,无论是在近迁移题还是远迁移题上两种练习模式之下的被试没有明显差异, $\chi^2(1, N=27)=0.008, \chi^2(1, N=27)=0.010, ps>0.05$;但两组被试在近迁移题上的表现均好于远迁移题(60%>27%、58%>25%),而这都远不如练习题上的表现,这说明题目的难度和性质影响迁移效果。

3.2.4 表征变化的来源 表征变化的路线、速度和广度实质上都是表征变化的具体表现,这些具体表现的原因是什么呢?这就涉及表征变化的来源问题。个体对知识的内在组织和加工、提供知识经验的教育或环境等都能够导致知识表征的变化,具体到本研究,练习次数、题目特点以及练习模式等都是表征变化的重要原因。

前述结果表明两种练习模式下儿童的表征都发生了迅速的变化。简单练习模式下,儿童在第二次练习和第三次练习期间(前测可作为第一次练习)表征水平发生了很大变化,其原因可能在于多次练

习给个体提供了表征重述的机会,同时每次练习后对儿童进行的访谈要求儿童对自己的解题过程进行解释(如问“你是怎么想到这些答案的”),这也能够启发儿童对问题进行积极思考,促使儿童对内在表征进行重新组织,因而也给被试提供了表征重述的机会。但第三次练习以后,练习(包括访谈)没有继续产生这样的影响,这说明练习的作用主要体现在学习阶段的初期。这可能是因为在学习初期,面对新的练习题目儿童有很高的兴趣和解决问题的欲望,因此能够对问题积极地进行表征重述。但多次练习后,儿童的兴趣减少,问题解决行为也变得机械化,这时练习虽然继续提供表征重述的机会,但实质上儿童可能并没有进行表征重述。这一点,从很多儿童完成后练习题目时总是不假思索就作出回答,并在回答访谈问题时答道“与前面的想法一样”可以看出来。因此,某种程度上来说,练习提供表征重述机会的条件下,儿童必须发挥主动性并积极思考,才能真正促使知识的表征发生变化。

复杂练习模式下,儿童在第二次和第三次练习期间,以及第四次和第五次练习期间,知识表征都发生了很大变化。其中第三次练习之所以能导致知识发生很大变化,一方面与练习提供了表征重述机会和个体积极进行表征重述有关,另一方面,第三次练习提供了难度较大的题目(目标数字为15),这也启发了儿童对问题进行深入的思考,并使知识的表征发生了很大变化。儿童在回答前面的题目时(目标数字都小于9),通常都是不假思索就写出了很多答案,但完成此题目的过程中,很多儿童都不由发出感叹“这么大的数字”,然后首先写出的是较熟悉的10和5,但此后多数儿童都会思考较长时间,写出11和4或者5和10或者其他。这说明插入一道难度较大的题目确实能促进儿童的思考。因此很多儿童写出10和5、11和4、12和3……15和0等答案,虽然儿童不能完全按顺序化规律写出所有答案,但儿童的回答体现出他们已能够对不同答案进行一定的组织。如果说,第二次练习和第三次练习中很难确定到底是多次练习提供表征重述机会的作用大还是插入难度较大的题目作用大,那么,在第五次练习时插入另一道难度较大的题目使得第四次和第五次练习期间儿童的知识表征发生了很大变化,则可以说明插入难度较大的题目对儿童知识表征的变化发挥着很大作用。与完成期间3的练习题目类似,对第五次练习题目(目标数字为18),儿童首先想到的是10和8,然后很多儿童写出了11和7、12和6、13和

5……18 和 0 等答案。这些儿童也没有把所有答案都写出来,但同样,他们已能够对不同答案进行一定的组织。

总之,练习次数、题目特点、练习模式及个体内在的积极主动性等都是个体表征变化的来源。其中,简单练习模式下第二次练习和第三次练习期间儿童表征变化的主要原因是练习次数及个体的积极主动性;复杂练习模式下第二次和第三次练习期间表征变化的原因在于第三次练习的测试题目、练习次数以及个体的积极主动性;复杂练习模式下第四次练习和第五次练习期间表征变化的原因在于第五次练习的测试题目、练习次数以及个体的积极主动性;而练习模式对表征变化的作用则体现在复杂练习模式下儿童表征发生变化的人数显著多于简单练习模式,且复杂练习模式下儿童表征变化的路线比简单模式下要丰富、表征变化发生循环的人数比例比简单练习模式下要高。

虽然有上述诸多因素可以促成表征变化,但在所有参与学习阶段的 87 名被试中,仍然有 23 人(简单练习模式下 16 人,复杂练习模式下 7 人)没有发生变化,这或许与他们基本认知能力或知识基础的低下有关,现有的练习条件(特别是简单练习)还不足以对其产生影响。对此仍需深入研究。

4 综合讨论

本研究采取微观发生法探讨了儿童解决数字分解组合任务过程中的表征变化及年龄和练习模式对儿童表征变化的影响。关于年龄的影响,如前所述研究结果表明练习过程中儿童的表征变化没有显著的年级差异,因此我们集中探讨了练习模式对儿童表征变化的影响。综合上述研究结果,这里集中讨论练习模式对儿童表征变化的影响。

(1)整体练习模式对表征变化路线的影响。本研究表明,与简单模式相比,复杂模式更能促进儿童的表征发生变化,而且这时儿童表征变化的路线更丰富,表征变化发生循环的人数比例也更高。这一点实质上集中体现了复杂练习模式下儿童表征变化的多样性,其中表征变化路线的丰富性体现了个体间的多样性,而表征变化的循环反复性则体现了个体内水平的多样性。实际上,无论哪种练习模式下,儿童表征的变化都远比 Karmiloff - Smith^[1]所描述的从程序到元程序再到概念化阶段的典型路线要复杂得多,甚至也不是通常认为的单调递增地发展,而存在包含了后退与反复的循环。在本研究中,当被

试面临这种书本和日常学习中很少遇到的新异的数字分解组合任务时,儿童会根据相关经验,对任务环境加以积极探索和适应,从而导致表征变化的多样性,而在复杂模式下因为每个期间题目难度的差异,表征水平的变化尤为明显。由此可见,多样性对于发展和学习研究来说,它不是意外或实验中没有有效控制而产生的噪声,恰恰是一种真实而有意义的存在。正如 Siegler 所言“认识并理解儿童思维的多样性,能够促进我们对认知发展的核心问题——变化是如何发生的加以理解”^[13]。

(2)练习题目难度和次数对表征变化速度的影响。已有研究表明,题目特点、儿童已有的发展水平、分析的精细程度以及是否接受了某种干预等都会对变化速度产生影响^[14,15]。在本研究中也有关似结果。例如,简单练习模式下,前后两个相邻期间(如第二、三期间)表征的变化就说明练习次数带来的熟悉度、经验积累所产生的影响,这种影响在练习初期导致表征水平迅速变化,而后期则因自动化和习惯化而使表征变化减缓。

而更值得讨论的是,复杂模式下儿童在插入难题的两次练习期间表征迅速变化的原因。这可能是因为新题目的难度超出了工作记忆的限制,迫使儿童重新思考问题答案之间的关系,从而促使表征水平迅速变化。

具体来讲,在复杂练习模式中有三道题目的目标数字都小于或等于 9,这对儿童来说都是非常熟悉的数字,和等于这些数字的答案作为加法事实也都储存在长时记忆中,因此对这些题目儿童多数是直接从中提取答案,即随机提取能想到的每个答案。这时儿童的表征处于程序水平,想到一个以上的合理答案(解题程序)就此停止了努力,根本不去考虑各个答案之间的关系。但插入的两道题目不同,和等于 15 的答案有 16 个,等于 18 的有 19 个,儿童很难在工作记忆层面同时考虑一共有哪些答案,已经报告了哪些,还遗漏哪些。因此这时儿童就开始思考所有答案之间的顺序。一旦意识到“顺序化”策略,就可以按照顺序逐一写出每个答案而不必同时将所有答案都储存在工作记忆中,还能清晰地知道已经写出了哪个答案,哪个还没有写。这就是说,当儿童难以从记忆中直接提取所有答案时,他们就开始尝试顺序化策略,可以说顺序化策略最初的使用是儿童努力突破工作记忆容量限制的结果。正是这种策略的发现,标志着表征达到了概念化阶段,至少是元程序阶段(部分使用顺序化策略)。由

此,表征因为问题难度的变化而迅速变化。可以这样讲,在特定情况下,认知发展中面临某些障碍或困难问题未必总让个体的认知表现下降,反而可能成为促使认知产生变化的“契机”,带来认知表现的提高。教学中可以适当利用困难问题制造认知发展的契机。

(3)变化的广度或知识迁移问题。以往很多研究^[9,10]都关心所学知识或问题解决能力的推广或迁移问题。本研究发现,练习中所获表征能力(在最后三次练习中达到元程序或概念化阶段)的推广,无论是在近迁移题还是远迁移题上两种练习模式之下的被试没有明显差异;但两组被试在近迁移题上的表现均好于远迁移题。这一结果与辛自强的研究^[9]类似,在其研究中,让一组被试接受单一模式(同类型)的练习题目,另外一组接受混合类型的题目,结果发现,两种模式下所掌握的快捷策略,在近迁移问题比在远迁移问题上能更好地使用,而且两种练习模式下所发现策略的迁移不存在明显差异。

被试在远迁移题目上表现较差,而在近迁移题目上表现较好,这显然是由题目难度和性质决定的。在本研究中练习阶段采用的是数字题,而迁移题目均为文字应用题,儿童必须对问题情境有正确理解,才可能迁移运用在数字题上所学会的数学结构。然而,两个问题情境所要求的知识经验不同。近迁移题目涉及“跷跷板”的情境,儿童都比较熟悉,而远迁移题目则涉及“元、角、分”的认识,生活中7、8岁的儿童还较少会处理“钱”方面的问题,因此儿童对此情境不是十分熟悉。而且最重要的是,后者的正确解决,还需要儿童处理好两个维度(1毛、2毛的组合和8毛的分解)的关系。根据Case的理论,7-8岁的儿童开始注意到两个维度,但还不能够完全把握两个维度的关系^[16]。因此,远迁移题目的正确解决对儿童认知能力的要求是比较高的,在该题答案只有两个的情况下儿童的迁移情况尚且如此(有些儿童可以靠猜想和随机组合想出答案),答案多的情况下可能儿童的成绩会更差。

参 考 文 献

- Karniloff-Smith A. Beyond modularity: A developmental perspective on cognitive science (in Chinese). Miu Xiaochun (Translation). Shanghai: East China Normal University Press, 2001 (A. 卡米洛夫-史密斯. 超越模块化-认知科学的发展观. 缪小春译. 上海:华东师范大学出版社, 2001)
- Briars D, Siegler R S. A featural analysis of preschoolers' counting knowledge. *Developmental Psychology*, 1984, 20: 607 ~ 618
- Frye D, Braisby N, Love J, Maroudas, C, Nicholls J. Young children's understanding of counting and cardinality. *Child Development*, 1989, 60: 1158 ~ 1171
- Siegler R S, Stern E. Conscious and unconscious strategy discoveries: A microgenetic analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 1998, 127: 377 ~ 397
- Karniloff-Smith A. Micro- and macro-developmental changes in language acquisition and other representational systems. *Cognitive Science*, 1979, 3: 91 ~ 118
- Xin Ziqiang, Lin Chongde. The microgenetic method: Focusing on cognitive change (in Chinese). *Advances in Psychological Science*, 2002, 10(2): 206 ~ 212 (辛自强, 林崇德. 微观发生法: 聚焦认知变化. *心理科学进展*, 2002, 10(2): 206 ~ 212)
- Xin Ziqiang, Zhang Li, Lin Chongde, Chi Liping. Change of children's representation level in the context of practice: in the case of digital combination task (in Chinese). *Acta Psychologica Sinica*, 2006, 38(2): 189 ~ 196 (辛自强, 张丽, 林崇德, 池丽萍. 练习背景下表征水平的变化: 以数字分解组合任务为例. *心理学报*, 2006, 38(2): 189 ~ 196)
- Karniloff-Smith A. From meta-processes to conscious access: Evidence from children's metalinguistic and repair data. *Cognition*, 1986, 23: 95 ~ 147
- Xin Ziqiang, Yu Guoliang. Acquisition and change of strategy in mathematical problem solving: A microgenetic study (in Chinese). *Acta Psychologica Sinica*, 2003, 35(6): 786 ~ 795 (辛自强, 俞国良. 问题解决中策略的变化: 一项微观发生研究. *心理学报*, 2003, 35(6): 786 ~ 795)
- Siegler R S, Stern E. Conscious and unconscious strategy discoveries: A microgenetic analysis. *Cognitive Psychology*. 1998, 36: 273 ~ 310
- Ashcraft M H, Faust M W. Mathematics anxiety and mental arithmetic performance: An exploratory investigation. *Cognition and Emotion*, 1994, 8: 97 ~ 125
- Chen Yinghe, Geng Liuna. The new trend on children's mathematical cognitive strategies (in Chinese). *Journal of Beijing Normal University (Social Science)*, 2003, 175(1): 38 ~ 44 (陈英和, 耿柳娜. 儿童数学认知策略研究新进展. *北京师范大学学报(社会科学版)*, 2003, 175(1): 38 ~ 44)
- Siegler R S. Cognitive variability: A key to understanding cognitive development. *Current Directions in Psychological Science*, 1994, 3: 1 ~ 5
- Siegler R S. How does change occur: A microgenetic study of number conservation. *Cognitive Psychology*, 1995, 28: 225 ~ 273
- Alibali M W. How children change their mind: strategy change can be gradual or abrupt. *Development Psychology*, 1999, 35(1): 127 ~ 145
- Case R. The mind's staircase (in Chinese). Tu Meiru, Zhou Xin et al (Translation). Nanjing: Nanjing Normal University Press, 1999. 30 ~ 33 (罗比·凯斯. 智能的阶梯. 屠美如, 周欣等译. 南京: 南京师范大学出版社, 1999. 30 ~ 33)

The Change of Representation and Its Correlates: A Microgenetic Study

Xin Ziqiang, Zhang Li

(*Institute of Developmental Psychology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*)

Abstract

The aim of the present study was to conduct a microgenetic analysis of the change of representation and its correlates in children's solving a specific form of an addition task. Karmiloff-Smith's theory of Representation Redescription was adopted as the theoretical framework of this study. Karmiloff-Smith (1992) suggested that representation redescription is an important way to gain knowledge, and that the change of representation includes three phases, which are procedural, meta-procedural and conceptual phase. During the procedural phase, children's problem solving behavior is considered to be "success-oriented". Separate units of behavior are not brought into contact with one another. At the end of this phase, consistently successful performance is achieved, but the change of representation does not stop. In the meta-procedural phase, an overall organization of the internal representation occurs and children can generate "organization-oriented" behavior. They move beyond procedural success to a phase of internal representational organization and the generation of a unified, single approach for all the parts of the problem. Finally, in the conceptual phase, the interaction between external data and internal representation is regulated and balanced as a result of the combination of internal and external control. Representation sustaining children's behavior in this phase is considered to be richer and more coherent, even though children's behavior in this phase may appear similar to the procedural phase.

In our opinion, the change of representation as described by Karmiloff-Smith takes place not only at the macro-developmental level, such as changing from one year to another, but also at the micro-developmental level, such as in the context of short-term repeated problem solving. However, a new question is whether Karmiloff-Smith's theory can be directly applied to describe the micro-development of representation. Thus, in the present study the microgenetic method was used to explore changes of representation that occur within the context of a specific form of digital division and combination task and within the boundaries of a sequence of limited-in number-sessions. There were eight sessions that included the three stages of pretest, practice and transfer. Based on a sample of 120 first and second graders, we explored representational change in the process of problem solving as well as the related age and practice effects.

The results showed that, in the pretest, the number of 2nd-grade children who achieved the conceptual phase was significantly higher than that of the 1st graders. There were no significant age differences among those children who achieved the procedural phase with both practice and the near transfer problem during the pre-test, although, in the far transfer problems, the performance of 2nd-graders was better than that of the 1st-graders. Practice patterns affected representational change in three ways: (1) A complex practice pattern facilitated children's representational change much more than a simple practice pattern. That is, more children achieved representational change in the complex practice pattern than in the simple practice pattern. (2) In the complex practice pattern, children's representational change accelerated in the two practice sessions in which difficult problems were inserted, whereas, in the simple practice pattern, children's representational change accelerated between the 2nd and 3rd sessions and the rate of representational change remained constant afterwards. (3) There were no significant differences in transfer performance between participants under two practice patterns, although performance became different in near and far transfer tasks.

As described in Karmiloff-Smith's model, results of this study demonstrated that changes of representation were beyond children's successful problem solving behavior. However, the present study found various pathways and different rates of change that were predicted by Karmiloff-Smith. Furthermore, the practice patterns had an effect on the change of representation. For example, solving hard problems or overcoming cognitive obstacles could facilitate the representational change. It is concluded that development at the macro and micro level may be different in many aspects.

Key words representation, knowledge construction, the microgenetic method.