



地质学中的若干思维方法

涂 光 炽

地质工作者应当学会自觉地运用辩证唯物主义指导自己的业务实践,但要作到这一点并非易事。其一是地质作用本身和地质体的形成常是长期与错综复杂的,人们往往只能看到长期作用的结局,而在探索其全过程中又缺乏十全十美的手段和方法,因而在推论时容易带上主观因素。其二是地质作用区域性很强,这一地区有的现象不一定在另一地区也存在,但在某一地区工作时间长了,便容易把这一地区工作中得到的看法推广到其他地区。如西欧的地质研究开始较早,人们对阿尔卑斯褶皱带进行了比较细致的构造剖析,这本是件好事,但也带来了以此区地质构造为蓝本来解释地球其他各处地槽褶皱带的发育和演化的后果,这也带来了一定的片面性。其三则是各种传统概念的束缚。这些传统概念尽管在一定阶段起过、有的现在还在起着积极作用,但如果它们形成了习惯势力,也会使人们思路狭窄,难以如实地和恰如其分地反映客观实际。还可能有其他的原因,但这三个因素似乎是地质工作者掌握辩证唯物主义的主要障碍。

为了尽可能避免主观片面性和传统观念的束缚,地质工作者要讲究思维方法,处理好一些矛盾问题。从我过去一段时间的实践中,深感如何处理好下述问题是能否真实地反映客观地质实际的关键。

非此即彼与亦此亦彼

由于长期来各种传统思想的束缚,我们头脑中的非此即彼是根深蒂固的。说得重一些,便是思想的绝对化。譬如说,半个世纪以来的经典矿床成因理论将多数矿床划为不

是外生的,就一定是内生的;不是内生的就一定是外生的,即非此即彼。对亦此亦彼的可能,即有些矿床既具备若干外生特征,也有某些内生特征,在过去或是不予考虑,或是考虑很不够。恰好,正是这类矿床的成因引起的争议最多。譬如,在我国不少地区,在碳酸盐地层中产出铅锌矿床,它们与岩浆活动无明显联系,物质组成简单,常局限于一定层位,缺少围岩蚀变。对这些铅锌矿床很久以来一直存在着两种对立观点的争论。一种观点认为它们是沉积矿床,一种观点认为它们是岩浆期后中低温或远温矿床。这两种观点互相排斥,即沉积成矿论者否认热液作用,而岩浆热液论者排除沉积作用的参与。这是典型的非此即彼。经过近年来细致的野外观察和深入的室内工作,人们注意到某些矿床既具备一些外生特征,也具备一些内生特征,但二者都并不完备和典型,它们是名符其实的亦此亦彼。这些铅锌矿床有一部分是沉积形成后经历了不同程度的改造,因而打上了内生“烙印”,有一部分则是后成矿床,但后成因素并非岩浆热液。

在内生矿床领域中也存在着非此即彼。如一个矿床要么是岩浆矿床,要么是岩浆期后矿床(除伟晶岩矿床外)。可能,多数内生矿床确实是非此即彼的,但是,不能排除一定条件下的亦此亦彼。例如,我国南方分布的一些花岗岩型铌钽矿床,有的研究工作者称之为岩浆结晶分异交代矿床。这些铌钽矿床就是亦此亦彼,即既具岩浆结晶分异特征,又具岩浆期后气液交代特征。又例如岩浆熔离铜镍矿床被认为是经典的岩浆矿床,但有的铜镍矿床,岩浆期后气液作用也还是

显著的,后者也是亦此亦彼。

在不少与海相火山活动有关的矿床中,火山热液与火山沉积成矿之争是很激烈的。这其中有一部分实质上是亦此亦彼。可以设想,海底火山喷发带上的气液对火山口附近的沉积物不可能没有影响,因此,在某种情况下,这里的沉积作用与热液作用是不易划清界限的。

又如,花岗岩的形成方式一般是非此即彼,即多数岩体不是硅铝层重熔成因,便是交代成因。但少数岩体可能具两种不同成因,即亦此亦彼。如桂北越城岭岩基,西侧出现混合岩带(主体是眼球状花岗岩,部分为条纹、条痕混合花岗岩),其中还残存一些未被花岗岩化的“俘虏体”,向东,混合岩逐渐过渡为正常的块状花岗岩。看来,硅铝层一部分处于部分熔融状态时,其旁的另一部分在较低温度下基本处于固态而由“岩汁”进行交代的可能性是完全存在的。

应当说,在地质作用和地质体的形成中,非此即彼还是很普遍的,问题在于在某些情况下不适当地夸大了非此即彼,在很大程度上否定了亦此亦彼,即搞了绝对化。这里,让我们重温恩格斯*的下述教导将是很有益处的。他说,“辩证法不知道什么绝对分明和固定不变的界限,不知道什么无条件的普遍有效的‘非此即彼!’,它使固定的形而上学的差异互相过渡,除了‘非此即彼!’,又在适当的地方承认‘亦此亦彼!’,并且使对立互为中介;……”。

复杂成因(多成因)与单一成因(单成因)

不过在十多年前,人们还认为,除少数沉积变质矿床外,其他矿床多是单一成因的。这种认识有它一定的历史背景。由于前面已谈到的人们认识上的局限性,只能看到长期地质作用的最后结果,而无法探索其全过程,因而容易导致把复杂的过程简单化,把一些多成因矿床当成单成因矿床了。

关于矿床的多成因问题,作者曾有专文论述^[1],此处不赘述。这里只扼要介绍岩石的多成因问题。

我国南方诸省广泛分布的花岗岩类多数属硅铝层重熔和交代成因,个别岩体则为基性-超基性岩浆结晶分异产物。对此问题,作

者及其同事曾作了专门论述^[2]。看来,自然界至少存在着三种不同成因的花岗岩类。

A.L.Boettcher^[3]讨论了安山岩的五种可能的形成方式。这五种方式成因是:

- 1.聚敛板块运动俯冲带上盘岩石圈重熔产物(主要在大陆边缘),如我国西藏冈底斯岩带和南北美洲西部出露的大量安山岩。
- 2.上地幔“湿”橄榄岩重熔分异产物。
- 3.沿用波文理论,玄武岩浆结晶分异产生安山岩。
- 4.硅铝层重熔。
- 5.基性岩浆受硅铝壳层物质混染。

Boettcher从地质产状、岩石共生组合、微量元素含量及锶、氧同位素比值、实验岩石学等资料综合分析,认为前三种成因在自然界都存在,后两种成因虽很早就有人提出,但依据不充分。如果Boettcher的意见是正确的,则至少安山岩有三种不同成因。关于另外两种成因以小规模方式存在,似乎也并非不可能。

本文作者曾于1976~77年多次谈到夕卡岩的多成因问题。长期以来,地质学者认为花岗岩类侵入碳酸盐地层的接触带及其附近是夕卡岩的标准产出条件,这实际上是单成因观点。现在看来,尽管这种产状的夕卡岩可能是主要的,但也存在着由火山一次火山气液作用、混合岩化作用和区域变质作用形成的夕卡岩。这四种不同成因的夕卡岩在我国都有广泛的分布,因拟专文论述,此处不再说明。

以上这些实例说明,就矿床和岩石来说,多成因要比我们设想的多。长期以来,我们过于习惯用单一成因思考地质问题了。如一提起安山岩,便只套用波文的理论,认为它是玄武岩浆分异的产物。从目前情况看,应当承认,在不排除单一成因的前提下,多成因是带普遍性的。

将今论古与地球演化

百余年前,地质学逐渐发展成为一门重要的自然科学分支时,将今论古便已成为地质学的基本法则之一。说得夸大一点,没有将今论古,地质学本身就很难成立。因为地质学所涉及的多是过去的事,是古,是我

* 恩格斯,自然辩证法,人民出版社,1971年版,第190页,

们没有看到过的古。总得有个对“古”的论证方法,而这个方法便是将今论古。

对地质学的发展,将今论古无疑起了推动作用,今后,它也将继续起重要作用。然而,将今论古不能绝对化,因为事物还有另外一面,即地球在演化,地壳在演化,矿产也在演化。一些古老的成岩成矿作用在后期不一定会出现,而现代的某些地质现象在遥远的地质过去也不一定存在。

譬如,条带状沉积变质铁矿从38亿年到18亿年前在全世界范围内广泛形成,但在以后便变得微不足道。代之而起的是鲕状赤铁矿矿床。虽然它们在规模和经济价值上远不如前者,但却在20亿年前直到第三纪广泛出现于各个地质时代。有工业意义的盐类矿床只是在10亿年前才开始出现,要在更古老的岩石中找盐矿大约是枉然的。活泼的油气,还有活泼的金属汞、铊等,则它们形成的矿床便出现得更晚一些。如我国油田,大量是在白垩纪和新生代形成的。据Кузнецов^[4],全世界汞矿床中,仅个别为海西期形成,较多出现于晚白垩世,而更多的则为阿尔卑斯期产物。与花岗岩浆气液作用有关,而具较大经济意义的钨锡矿床在世界范围内也大多出现于晚古生代之后。因此,总地看,在地质历史晚期的成矿作用,从成矿元素和矿床类型看,要比早期复杂一些。

看来,不少矿产有它们固有的发生、发展和消亡规律,尽管这个问题目前还没有引起注意。以前述条带状沉积变质铁矿为例,当地球最早的绿岩建造形成时,它便伴之而出现,在晚太古代一早元古代,这种铁矿发展到登峰造极的程度,而在18亿年之后它便几乎消声匿迹了。掌握矿床发生、发展和消亡的规律不仅对找矿很必要,对研究地球演化也是关键的。

除矿产外,地壳也在演化,大气圈也在演化。至甚,花岗岩的形成方式也在演化^[2]。地质历史早期的花岗岩多是交代作用的产物,而晚期的则更多是硅铝层重熔产物。

因此,正确的思路应当是将今论古与地球演化的结合。

均变论(渐变论)与灾变论(突变论)

一百多年前,当科学的地质学奠基者之一莱伊尔提出的均变论战胜了在他之前流行

的灾变论时,均变论便被作为与将今论古同样重要的基本法则,被地质工作者接受下来了。

作为“异端邪说”的灾变论,有它出现的历史背景。在19世纪初叶以前,由于地质实践还很不够,计算地质体、沉积物年龄的方法也很原始,导致了将一些地质作用,如褶皱带的造山运动,完成于十分短暂时间的错误结论。这便是灾变论的由来。

莱伊尔以后,均变论统治了地质思潮。神秘的,几乎带有宗教色彩的灾变论在一些教科书中被戴上了“唯心论”、“不可知论”的帽子,被彻底打入地质冷宫了。

然而,时至今日人们发现,在地质作用中渐变固然重要,突变亦屡见不鲜。火山爆发、地震、山崩、地陷、滑坡、泥石流在若干地区形成地质灾害。它们是在人们眼前出现的灾变。这些灾变是在日积月累渐变基础上的突变。在一定意义上,均变是量变,灾变是突变,二者是互相依存的。只不过在实际生活中,人们习惯于风化、搬运、沉积等均变现象,而对上述灾变感到突然。尽管对这些地质灾害目前还不能准确地进行预报,但是,它们的规律并非不能掌握,只是眼前尚未充分掌握罢了。

那么,在地质历史上有没有比上述地质灾害规模更大的灾变或突变事件发生呢?这是近年来地质学家议论的重要课题之一。

地质历史上最富有戏剧性和神秘色彩的事件之一,是白垩纪末期庞大陆生恐龙和海洋浮游生物在短暂时间内的突然灭绝。但在过去并未发现当时的水圈或大气圈有任何出其不意的改变,以致给这些生物造成大规模死亡。近年来人们注意到在不少地区白垩系—第三系接触带的粘土层中,铂族元素,特别是其中的铱和钴、镍、砷、铊等元素为正常含量的十余倍到数十倍。粘土层的氧同位素异常说明,海底和水面温度都曾突然上升10℃左右。碳同位素分析也说明海水成分有显著变化。这些地球化学因素的突变使人们联想到巨大富铁镍和铂族陨石^[5]或彗星^[6]的陨落,否则,很难解释巨大生物、微量元素和同位素组成的突然改变。

类似的更大规模的彗星或陨石冲击在太阳系一些星体的早期演化历史上并非鲜见。以月球为例,在它存在的最早的6亿年

间发生了大量冲击事件，形成许多陨石坑，剧烈的冲击只是到39亿年前才停止。水星、火星、金星大约有同样的充满陨落灾变的早期历史。地球的早期遭遇也不会例外。不同的是地球表面很早就出现了流水和大气，由此而引起的风化、剥蚀和搬运作用早已把古老的陨石坑破坏无遗了。

是时候了，应当为灾变论平反，公平地对待灾变论和均变论，它们在长期的地质作用中是相辅相成、互为因果的。

普遍性和特殊性

毛主席在《矛盾论》中精辟地分析了这一对矛盾。地质学既带全球性，又带区域性；前者是普遍性，后者是特殊性。恰如其分地掌握好这一对矛盾既具有现实意义，也具有理论意义。

譬如找矿，我们常提要因地制宜。因地，就是从当地的特定的地质条件出发，制宜，就是有什么找什么。矿产形成和分布规律有一些是全球性的，有一些是区域性的。对二者，特别是后者都要了解和掌握，否则找矿便可能陷入盲目性。

以找铁为例，存在不少全球共性的规律。如18亿年前，条带状铁矿的发育是全球性和普遍性的。不少土地面积较大国家都产出这种类型铁矿，我国同样有大量的这种铁矿分布。

风化壳型富铁矿就是以这种条带状贫铁矿为基础，经过长期地表去硅作用，铁就地富集而形成的。这是风化壳型富铁矿形成的普遍规律。

从共性出发，我国既产出大量条带状贫铁矿，就有可能形成风化壳型富铁矿。但经过全国找矿队伍的共同努力，这种富铁矿仍很少发现。这种矿并不象一些稀缺矿种那样难找。为什么找矿效果不佳呢？这就要从我国特定的地质规律和地质条件，即矛盾的特殊性去寻找原因了。

原来，象苏联、澳大利亚、巴西、印度、加拿大、美国、南非等土地面积大，又产风化壳型富铁矿的国家都有广泛分布、发育良好、未经变质或变质很浅的早元古代含铁地层的出露。这些未变质的早元古代贫铁矿（铁矿物是一些铁硅酸盐如铁滑石、铁蛇纹石，还有细粒铁的氧化物、碳酸盐以及燧

石等），在后期地表风化作用中很容易发生去硅作用，形成富铁矿。另外，上述地区后期地壳变动不剧烈，富铁矿形成后相对较易保存下来。

但在我国，早元古代含铁地层出露较少，条带状沉积变质铁矿主要是太古代的产物。它们普遍变质较深，常在绿片岩相以上。硅不是以易风化的铁滑石、铁蛇纹石、燧石等形式出现，而是呈较大颗粒、结晶良好的石英。在地表风化作用下，这种石英的去硅作用远不如一些成岩或浅变质形成的硅酸盐和燧石。因而，这种变质较深的条带状铁矿不易在后期发生去硅作用而形成富铁矿。另外，由于我国地质历史晚期地壳运动频繁，对发育和保存风化壳型富铁矿也有影响。这样，总地看，我国特定的地质发育历史对形成风化壳型富铁矿是不够理想的。

但是，另一种类型的富铁矿，即夕卡岩型，在我国却很重要，而在其他国家都不重要。这也和我国特定的地壳运动历史——中生代有大量花岗岩类侵入和火山-次火山作用有关。

因此，找条带状贫铁矿和富铁矿既要考虑全球性普遍规律，更要考虑我国自己的特殊规律。

其他矿种的找矿问题也莫不如此。如汞矿床，尽管其成因和成矿条件尚有争议，但都承认它们形成的温度较低，这是汞矿床的普遍规律，我国的汞矿床也不例外。

然而，我国的汞矿床也有它们自己特殊的规律。据统计^[4]，世界汞矿床有75%产于碎屑岩中，20%产于碳酸盐中。但在我国，95%的汞矿床却赋存于碳酸盐地层中。我国的这一特点就不能不在汞矿普查中予以注意。

不仅找矿，研究其他地质作用和地质现象也要通盘考虑共性与个性问题。如我国东部地处环太平洋西带，它的地质发育和环太平洋带其他地区有共性，即中生代岩浆活动频繁剧烈，成矿活动丰富多样等。但我国东部花岗岩类及有关矿化却和太平洋东带着本质的差别。这是由太平洋西带的特殊规律决定的，不能在西带套用东带的规律，反之亦然。

处理好普遍性与特殊性这一对矛盾，才能掌握主动，避免盲目性，才有利于地质事

业的发展。

开放体系与封闭体系

自然界是一个庞大的开放体系,长期而严密的封闭体系实际上很难存在。大如太阳系,过去曾认为它本身是个封闭体系。从近十年来若干碳质球粒陨石中白色包体的各种同位素异常的发现,可以论证在太阳系演化早期很可能有系外物质的加入。这说明太阳系的演化并不总是在封闭体系中进行的。一些持续时间长的成岩成矿作用,也很难设想没有旧物质的流失和新物质的参加。一般讲,在地壳相对稳定时期,可以在一定条件下保持较长时间的封闭体系,而在地壳运动频繁剧烈时(如广泛的区域变质作用、我国东部的燕山运动等),则开放体系便占绝对优势了。

但是,一些实验工作必需假设封闭体系,否则便失去了实验的依据和前提。譬如,同位素地质年代学,无论采取何种方法,都要假设放射性母体和子体在欲测时间内没有跑掉也没有增加,即形成封闭体系,否则年代测定便失去了前提。但在实际上这种情况并不经常出现,无论那一种年代测定方法都有其局限性,也有其适应性。而这些性质是由被测定对象在何种情况下可以保持一定的封闭体系来决定的。

同位素地质年代学本身的发展说明了地质体确实不易长期保持封闭体系。譬如,约30年前,钾氩法刚建立不久,人们对用它测定岩石矿物年龄抱有很大希望,也的确用它作出了一批与野外观察相符合的年龄数据。随着数据的积累,人们发现其中一部分并不代表地质体的形成年龄,而具其他意义(如形成后的变质作用、热事件或其他作用)。这一部分数据说明了某一岩体或矿物在形成后的一定时期,由于一定热事件而对钾-氩形成了开放体系,现在测出的年龄不过代表了最后一次形成封闭体系的年龄。由于氩易流失,因而局限性较大,但对测定新火山岩年龄,仍不失为重要方法。

铷锶法在开始时,人们也认为它给出的数据是地质体的形成年龄。但数据多了,人们才发现铷锶法虽较钾氩法易于形成封闭体系,但在某些条件下它给出的数据也只代表了后期变质或其他热事件年龄。近几年来,

钐钕法时兴了,给出了一些古老岩石的年龄。看来,它比铷锶法更易形成封闭体系。但也应看到,它将来还会出现局限性,因为在某些情况下,它也会形成开放体系。因此,地质工作者在解释和利用同位素年龄数据时,正确处理开放体系与封闭体系的关系是很重要的。

譬如,我们可以利用不同方法和不同矿物在不同温度下形成封闭体系这一事实来探讨某些地质作用。举个例子,柴田等^[7]最近用铷锶全岩法测定了日本十个具简单热历史的小花岗岩体年龄,他们发现,除两个例外,铷锶年龄值比同一岩体的黑云母钾氩年龄大4~9百万年。柴田等认为铷锶年龄代表岩体侵位年龄,而钾氩年龄则代表岩体隆起和冷却年龄,二者之间的差距则为岩体冷却时间。这是因为,黑云母中钾氩形成封闭体系是在岩体已冷却到300°C左右,而铷锶全岩则在更高温度,即花岗岩开始结晶时便保持了封闭体系。因此,可以利用两种方法在不同温度下保持封闭体系的特点讨论岩体隆起和冷却的时间。

很多成岩成矿实验是在封闭条件下完成的。但由于地质体常处于开放体系,而且还是极复杂的多元体系,因此,在将成矿成岩实验结果应用于解释地质现象时就要谨慎从事。譬如,在应用一些干体系相平衡实验数据时,就应当考虑到在成岩成矿过程中常有挥发分的参与,后者对降低反应温度和加快反应速度方面所起的作用决不能忽视。自然界常出现的高盐度溶液(如卤水)在高温下搬运某些金属的能力也不是在同样温度但在蒸馏水中进行的实验结果所可比拟的。

均一性与非均一性

物质的非均一性看来是自然界的普遍规律。不过在十年前,人们还认为上地幔是均一的。近年来大量新发现的事实证明,尽管上地幔在宏观上,即在地球物理场、岩石类型等方面比较单一,但在微观上,即在微量元素和同位素组成上,却远非均一。

一些貌似十分均一的矿物光学性质可能不均一。同一矿物颗粒不同部分的微区电子探针分析说明无论在主元素和微量元素之间,差别都可能很大。同一方铅矿较大晶体的内部和外部铅同位素组成可以相差很大。

共生关系密切的立方体和八面体方铅矿在硫同位素组成上可以相差很远。相信随着分析测试手段的日益精密,人们将会发现愈来愈多矿物微区成分不均一的现象和事实。

另一方面,在地质和地球化学工作中,平均成分的概念却十分重要。地球化学领域中最基础、最先行的工作之一便是元素在地壳及不同地质体丰度值的确定,丰度值实质上是平均值。在矿产储量计算中,某些金属在矿石中的平均含量是必要的基础数据,即平均品位。

物质世界是不均一的,但在人们的实际生活中却要求平均成分、平均值的确定。这一问题看来似不复杂,但如处理不好,也会给工作带来损失。

譬如,从非常大量的分析数据中求平均值,按道理是比较更接近理想的平均值的,但这会造成人力、物力、时间的严重浪费,而且也无必要。关键是从数目不多,但代表性却很强的分析数据求平均值。这里,样品和标本的代表性是极为要害却最易被忽视的问题。样品取得恰当,代表性强,少数几个便能很好说明问题。早期一些地球化学大师如 Goldsmidt 等所求得元素丰度值所依靠的样品数量很少,但却站住了脚,经受了30多年实践的考验。除分析精确外,少而精的样品是更为重要的。在一定意义上,取样是一门科学而不是工作方法。

因此,地质和地球化学工作者必需十分重视取样工作,特别是代表性问题。无论是镜下工作、化学分析、同位素年代学的样品都要在野外现场仔细观察、对比,而决不要随意拣取一些样品。

国际地质科学联合会主席杜伦佩在26届国际地质大会开幕式的讲话中有这样一句:“归根结蒂,计算机输出的质量仍然决定于所输入数据的质量。”我想,可以再补充一句:“而输入数据的质量决定于取样的质量。”

野外观察和室内工作

百余年前,野外观察和填制地质图几乎是地质学唯一的工作方法。室内工作只限于化石鉴定和少量化学分析。光学显微镜的引进,给地质学增加了重要的室内手段。如今,各种分析测试技术日益完善,正在向微观的纵深发展。许多新方法、新技术的涌现,都

推动了地质学的发展,给它开拓新的领域和思路。

周密的细微的野外观察和必要的精确的室内实验测试相结合,无疑是今后地质工作的重要途径。这两方面是相辅相成,缺一不可的。

也许,这是简单的常识问题,但在日常工作中处理不当的事却屡有所闻。如个别地质工作者过多地强调室内手段的重要,把野外工作下降到只是取取样,以备室内工作之需。对实验测试要求面面俱到,求全求多。实际上,这是把主次颠倒了。

这里,让我们再引用一段前述杜伦佩的发言,也许有好处。他说:“当我们欢庆那些用大标题刊登在专业杂志和报纸上的惊人发现时,我们不应忘记地质学的发展要立足于地面工作,立足于耐心地、勤奋地收集扎实的资料。”

目前,野外和室内工作由于工种多、手段多,有所分工侧重是必要的。但如分工过细,也会妨碍融会贯通,不利于测定对象的正确解释。譬如,搞同位素年代学,地质人员应当亲自作野外和镜下观察、取样和选样以及数据处理,他还要熟悉质谱和化学处理技术。如果分工过细,各搞一摊,不及其余,可能对数据不易得出合理的、恰当的解释。

看来,野外和室内都宜一专多能。蜻蜓点水,只知皮毛,当然不好。但只专一样,其他不过问,也决非上策。

地质过程千变万化,地质现象错综复杂,我们地质工作者应当力求掌握正确的思维方法,以求尽可能准确地、本质地认识地质规律。

主要参考文献

- (1) 涂光炽,地质与勘探,1979,6期,1~5
- (2) 中国科学院地球化学研究所,华南花岗岩类的地球化学,1979,379~381
- (3) A.L.Boettcher, Volcanism and Orogenic Belts—the Origin of Andesite, Tectonophysics, 1973, 17, 223~240
- (4) В.И.Смирнов и др., Металлогения Рунга, 1977
- (5) F.T.Kyte et al., Siderophile—Enriched Sediments from the Cretaceous—Tertiary Boundary, 即将刊于 Nature
- (6) 许靖华,长春地质学院学报,1980,2期,1~8
- (7) K.Shibata et al., Geochem.Jour., 1979, 13, 113~119